В. Г. БАРТЕНЕВ



УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР



Выпуск 985

В. Г. БАРТЕНЕВ

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР

ББК 32.842
Б24
УДК 621.317.7.049.77

Бартенев В. Г.

Б24 Универсальный измерительный прибор. — М.: Энергия, 1979. — 48 с., ил. — (Массовая радиобиблиотека. Вып. 985).

20 к.

Описывается универсальный измерительный прибор с применением интегральных микросхем. Приводятся его технические характеристики, рассказывается о принципе действия, конструктивном оформлении, налаживании и работе с прибором.

Прибор демонстрировался на 27-й Всесоюзной радиолюбительской выставке и отмечен дипломом 1-й степени.

Брошюра предназначена для подготовленных радиолюбителей.

Б $\frac{30404-047}{051(01)-79}$ 251—79. 2402020000

ББК 32.842
6Ф2.08

ПРЕДИСЛОВИЕ

Вниманию читателей предлагается универсальный измерительный прибор, демонстрировавшийся на 27-й Всесоюзной радиолюбительской выставке и отмеченный дипломом 1-й степени.

Прибор, несомненно, представляет большой интерес с точки зрения современного уровня измерительной техники, поскольку в нем использованы операционные усилители в интегральном исполнении К1УТ401А, К1УТ402Б и транзисторные сборки.

С помощью прибора можно измерять постоянные и переменные напряжения от 1 мВ до 1000 В, постоянные и переменные токи от 1 нА до 3 А, сопротивления от 10 Ом до 10 МОм, емкости от 100 пФ до 300 мкФ, индуктивности от 1000 мкГ до 3000 мГ. Отличительными особенностями прибора являются: универсальность применения, широкий диапазон измеряемых величин, высокая чувствительность в сочетании с большим входным сопротивлением, а также высокая стабильность и экономичность.

В брошюре подробно разбирается принцип действия прибора, дается описание его конструкции. Рассказывается о том, как наладить прибор и работать с ним.

В приложении приводятся справочные данные по микросхемам, примененным в приборе.

Прибор может быть рекомендован для повторения опытными радиолюбителями.

Отзывы и пожелания по этой книге следует посылать по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, издательство «Энергия», Массовая радиобиблиотека.

Редакция Массовой радиобиблиотеки

НАЗНАЧЕНИЕ, ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Описываемый комбинированный измерительный прибор предназначен для измерения постоянных и переменных напряжений и токов, активных и реактивных сопротивлений, частоты.

Отличительными его особенностями являются: широкий диапазон измеряемых величин, линейная шкала во всех режимах измерения, малое число прецизионных резисторов, питание от батарей, портативность. Изменение полярности измеряемых токов и напряжений, установка нуля в приборе осуществляются без отключения его от измерительной цепи. Малые габариты и масса, высокая стабильность и экономичность прибора достигнуты благодаря применению интегральных микросхем.

С помощью прибора можно измерять постоянные и переменные напряжения от 1 мВ до 1000 В на пределах 10, 30, 100, 300, 1000, 3000 мВ; 10, 30, 100, 300, 1000 В; постоянные и переменные токи от 1 нА до 3 А на пределах 10, 30, 300, 1000, 3000 нА; 10, 30, 100, 300, 1000, 3000 мкА; 10, 30, 100, 300, 1000, 3000 мА.

Погрешность измерения постоянных напряжений и токов не превышает ±2%, а переменных ±4% для номинальной области частот 40 Гц—50 кГц. В расширенной области частот от 20 Гц до 150 кГц погрешность показаний прибора не превышает ±6%. Входное сопротивление прибора по постоянному току 10 МОм на всех пределах. Входная емкость прибора на пределах от 10 мВ до 3000 мВ не более 25 пФ; на пределах свыше 10 В не более 15 пФ.

Падение напряжения на приборе при измерении постоянных, переменных токов на всех пределах, кратных десяти, 100 мВ, на пределах, кратным трем, 300 мВ. Шкала прибора для переменного тока и напряжения проградуирована в средневыпрямленном значении синусоидального напряжения и тока.

Активные сопротивления от 10 Ом до 1000 МОм измеряют на пределах 10, 100, 1000 Ом; 10, 100, 1000 кОм; 10, 100, 1000 МОм. Погрешность измерения на пределах омы, килоомы не превышает 2%, на пределах мегаомы не превышает 5%.

Пределы измерения емкостей: 100, 300, 3000 пФ; 10, 30, 100, 300, 1000, 3000 нФ; 10, 30, 100, 300 мкФ. Пределы измерения индуктивностей: 1000, 3000 мкГ; 10, 30, 100, 300, 1000, 3000 мГ. Погрешность измерения индуктивностей и емкостей не превышает 5%. При измерении активных и реактивных сопротивлений прибор калибруется по встроенным внутрь прецизионному резистору, конденсатору и катушке.

Частота измеряется на пределах 10, 30, 100, 300, 1000, 3000 Гц; 10, 30, 100 кГц. Погрешность измерения частоты не превышает 5%.

Питание прибора осуществляется от восьми элементов 332. Ток, потребляемый от источников питания в режимах измерения напряжений, токов и сопротивлений, не превышает 10 мА. В режиме из-

мерения сопротивлений используется дополнительный элемент 373. В приборе предусмотрен контроль питающих напряжений.

Генератор треугольного напряжения, используемый в режиме измерений индуктивностей и емкостей, может использоваться самостоятельно для налаживания низкочастотных устройств. Генерируемые им частоты приблизительно равны 2 Гц, 200 Гц (режим измерения емкостей), 2000 Гц, 20 000 Гц (режим измерения индуктивностей). Амплитуда выходного низкочастотного напряжения плавно регулируется в пределах от 20—30 мВ до 2—3 В.

Размеры прибора не более 190×250×90 мм, масса — около 2 кг.

ОПИСАНИЕ СХЕМЫ И РАБОТЫ ПРИБОРА

Принципиальная схема универсального измерительного прибора приведена на рис. 1. Она включает в себя следующие основные элементы: операционный усилитель на микросхемах MC_3—MC_5, генератор треугольного напряжения на микросхемах MC_1, MC_2, стрелочный прибор $ИП_1$, источники питания, диодный мост $Д_1$—$Д_4$, прецизионные и обычные резисторы, конденсаторы, элементы коммутации и т. д.

Рассмотрим режимы измерения прибора.

Измерение напряжений. Наиболее часто на практике приходится измерять напряжения, поэтому этот режим является основным в универсальном измерительном приборе. Вольтметр может быть выполнен по разным схемам, иметь различные пределы измерения, разную степень универсальности, но в любом случае вольтметр не должен изменять режим цепи, к которой он присоединяется, т. е. вольтметр должен иметь высокое входное сопротивление. Входное сопротивление является важнейшей характеристикой вольтметра. Для получения большого входного сопротивления в описываемом универсальном измерительном приборе используется операционный усилитель на микросхемах MC_3—MC_5 с высокоомным входом. Увеличению входного сопротивления способствует также глубокая отрицательная обратная связь, которой охвачен операционный усилитель.

Принцип измерения постоянных напряжений пояснен упрощенной схемой на рис. 2. При достаточно большом коэффициенте усиления операционного усилителя $ОУ$ ($K \gg 1$) напряжение на резисторе обратной связи $R_{о.с}$ (R_{28}—R_{33}) равно входному напряжению. Тогда ток стрелочного прибора определяется как $I_{и.п}=U_{вх}/R_{о.с}$. Это соотношение позволяет выбирать сопротивление обратной связи. Так, для измерения напряжения 1 В при токе полного отклонения стрелочного прибора $ИП_1$ 100 мкА сопротивление обратной связи должно быть равно 10 кОм.

Важно отметить, что в данном случае погрешность измерения напряжения определяется практически классом точности измерительного прибора $ИП_1$ и точностью подбора резисторов R_{28}—R_{33}, включенных в цепь обратной связи. Для расширения пределов измерения можно применять дополнительно входной делитель напряжения, но при этом к погрешности показаний вольтметра добавится погрешность входного делителя. Чтобы свести к минумуму число резисторов входного делителя, целесообразно изменять пределы измерения переключением резисторов обратной связи. Это удобно также потому, что сопротивление резисторов обратной связи составляет от нескольких сотен ом до нескольких десятков килоом. Резисторы таких номиналов легко подобрать или изготовить с точностью до 0,1%. Во

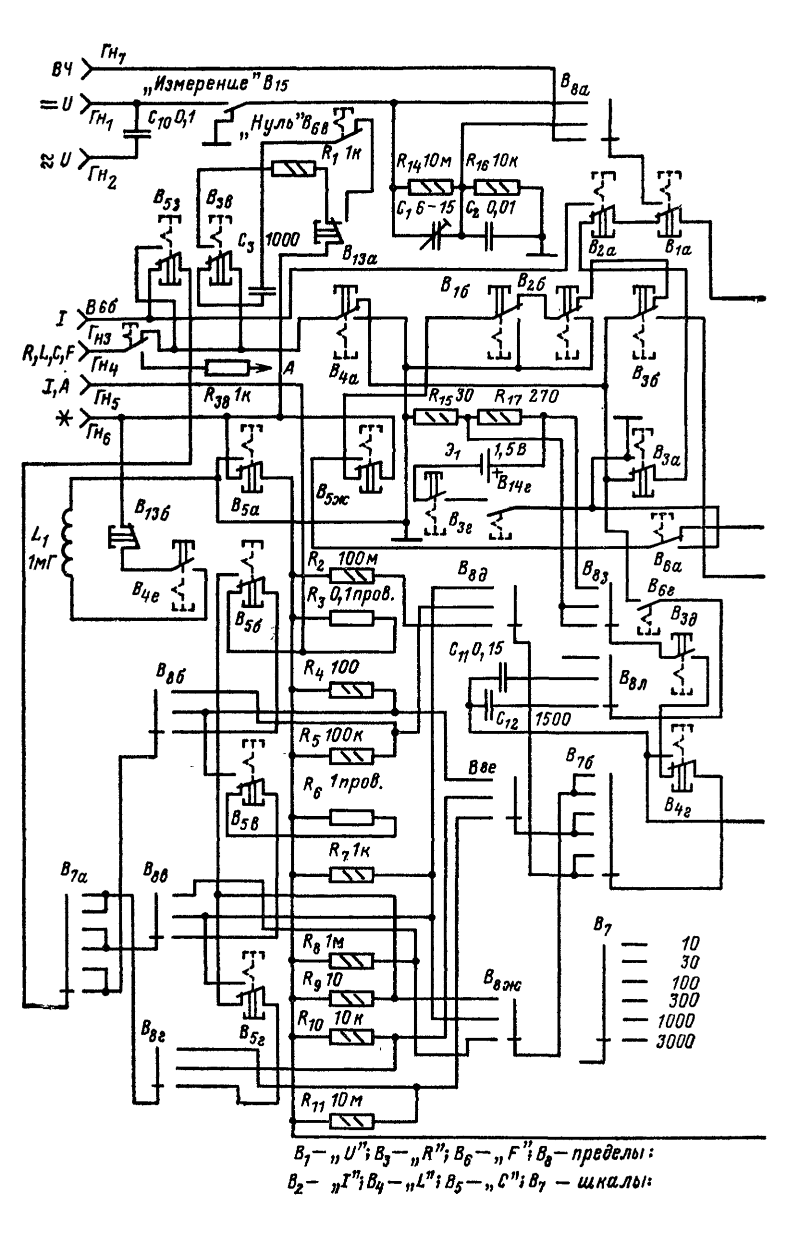
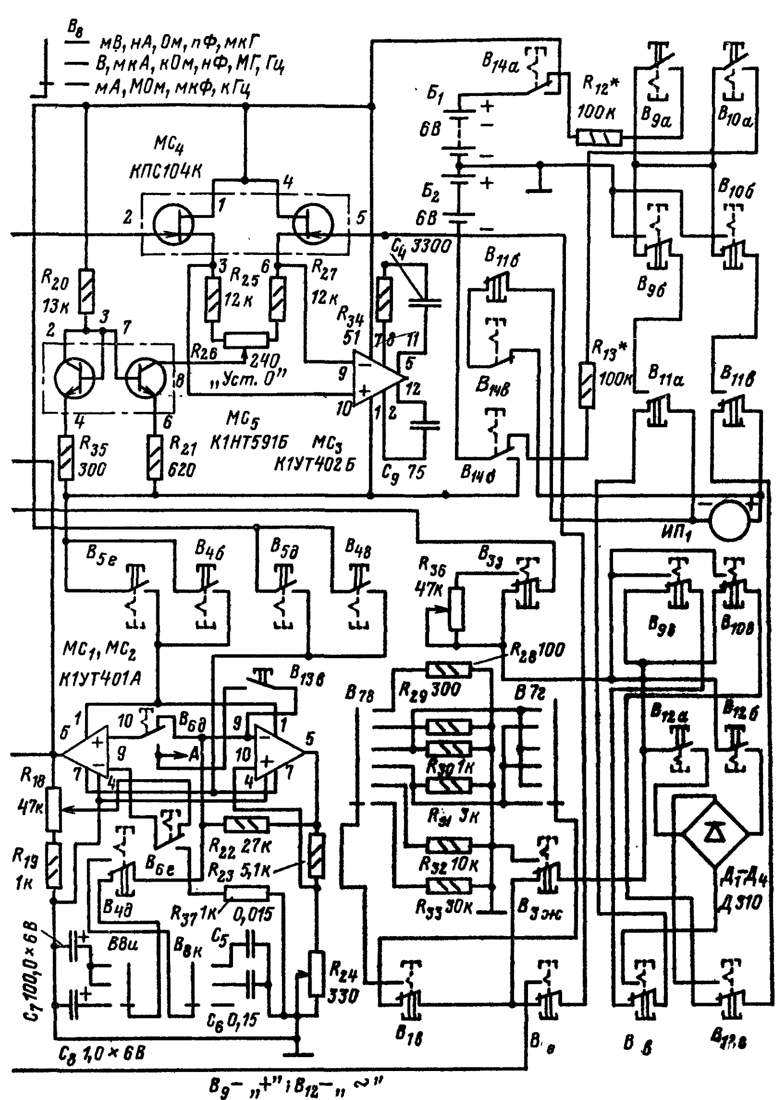


Рис. 1. Электрическая схема универсального измерительного прибора.



B_9 — „+"; B_{12} — „~"

B_{14} — вкл. прибора; B_{10} — „−"; B_{11}, B_{13} — калибровка–измерение

B_{15} — измерение–нуль

входном делителе потребовались бы мегаомные резисторы, найти прецизионные резисторы таких номиналов труднее. Кроме того, для измерения постоянных и переменных напряжений используется один и тот же операционный усилитель, применение многопредельного входного делителя усложнило бы его частотную компенсацию с помощью емкостей.

В описываемом универсальном измерительном приборе при построении многопредельного вольтметра была использована схема с переключением резисторов обратной связи. При этом диапазон входных напряжений ограничен максимальным напряжением на выходе операционного усилителя. В табл. 1 приведены сопротивления резисторов обратной связи для стрелочного прибора $ИП_1$ с током полного отклонения $I_{п.п} = 100$ мкА для пределов измерения от 10 до 3000 мВ. Операционный усилитель при этом должен обеспечивать на выходе напряжение не менее ±(3,5—4) В.

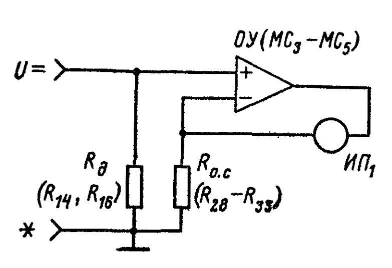


Рис. 2. Структурная схема для измерения постоянных напряжений.

Для измерения напряжений более 3 В используется входной делитель из двух резисторов R_{14}, R_{16} с коэффициентом деления 1000. Тот же набор резисторов обратной связи $R_{о.с}$ (R_{28}—R_{33}) позволяет измерять напряжения теперь уже от 10 до 1000 В (предел в 3000 В не используется ввиду возможного электрического пробоя в переключателе входного делителя).

Таблица 1

Пределы измерения напряжений	10 мВ	30 мВ	100 мВ	300 мВ	1000 мВ	3000 мВ
$R_{о.с}$	100 Ом	300 Ом	1 кОм	3 кОм	10 кОм	30 кОм

Входной делитель должен быть как можно более высокоомным. Однако возможности повышения его сопротивления ограничиваются, во-первых, временной нестабильностью высокоомных непроволочных сопротивлений делителя, во-вторых, влиянием входного тока усилителя, протекающего через делитель. Из-за этого полное сопротивление делителя выбирается обычно равным 10—20 МОм. В приборе номиналы резисторов входного делителя равны: $R_{14} = 10$ МОм, $R_{16} = 10$ кОм.

Входной ток усилителя с входным каскадом на полевых транзисторах ($МС_4$) имеет 10^{-10}—10^{-9} А. Такой ток вносит заметную погрешность на самых чувствительных пределах измерения (10 мВ, 30 мВ), но незначителен на более высоких пределах измерения. Как же избавиться от влияния входного тока операционного усилителя? Во-первых, для этого во входном каскаде усилителя $МС_4$ желательно применять полевые транзисторы с малым током затвора. Во-вторых, следует предусмотреть возможность установки нуля без

отключения щупов прибора от контролируемой цепи. Для этого в схему введен тумблер $В_{15}$ (см. рис. 1).

Полярность вольтметра изменяется также без отключения прибора от измеряемой цепи переполюсовкой стрелочного прибора $ИП_1$ с помощью переключателей $В_9$, $В_{10}$.

При измерении переменных напряжений стрелочный прибор $ИП_1$ включают в цепь обратной связи через выпрямительный мост (рис. 3). Измеряемое напряжение подается на неинвертируемый вход операционного усилителя, а с его выхода к диодному мосту $Д_1—Д_4$. Напряжение обратной связи подается на инвертирующий вход усилителя.

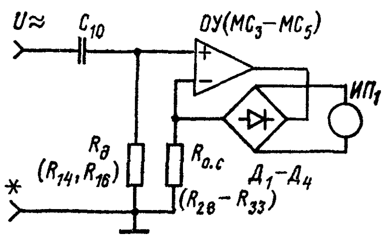


Рис. 3. Структурная схема для измерения переменных напряжений.

Благодаря большому коэффициенту усиления операционного усилителя линеаризуется шкала измеряемых напряжений и улучшается стабильность характеристики выпрямителя. Приближенно можно считать, что порог детектирования в этом случае уменьшается в $U_{пор}/K_{о.у}$, где $U_{пор}$ — пороговое напряжение, т. е. напряжение открывания *p-n* перехода диода, которое для кремниевых диодов составляет около 0,7 В; $K_{о у}$ — коэффициент усиления операционного усилителя. Так как нижний предел измерения переменных напряжений в приборе выбран равным 10 мВ, то для обеспечения линейности шкалы при токах стрелочного прибора 0,5—1% номинального операционный усилитель должен иметь коэффициент усиления $K_{о.у} > (U_{пор}/U_{вх}) \times (200 \div 100)$, т. е. не менее 10 000—14 000.

Сопротивление обратной связи $R_{о.с}$, как и при измерении постоянных напряжений, определяет предел измерений. Но показания стрелочного прибора соответствуют теперь среднему значению выпрямленного синусоидального тока, протекающего через него. Если $U_{вх}$ — действующее значение входного напряжения, то средний выпрямленный ток через стрелочный прибор

$$I_{и.п} = \frac{2\sqrt{2}\,U_{вх}}{\pi R_{о.с}}.$$

Исходя из этого выбираются сопротивления обратной связи и градуируется шкала при измерении переменных напряжений.

В описываемом измерительном приборе при измерении переменных напряжений используются те же резисторы обратной связи, что и для измерения постоянных напряжений. Шкала переменных напряжений в этом случае оказывается проградуированной в средневыпрямленных значениях измеряемого синусоидального напряжения. Для получения действующего значения следует показания прибора умножить на коэффициент $\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$.

Если требуется, чтобы шкала была проградуирована в действующих значениях синусоидального напряжения, можно применить до-

полнительный набор резисторов обратной связи, подключаемых с помощью дополнительных групп контактов. Теперь сопротивления резисторов обратной связи должны быть в $\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$ раз больше тех, что приведены в табл. 1. Возможный вариант подключения дополнительного набора резисторов обратной связи приведен на рис. 4.

Имеется и другой вариант введения в прибор шкалы действующих напряжений, который не требует дополнительно шести прецизионных резисторов в цепи обратной связи и дополнительных контактных групп переключателя B_7. В этом случае в качестве стрелочного прибора $ИП_1$ следует применить микроамперметр на ток 50 или 75 мкА, а параллельно ему с помощью дополнительной контактной группы переключателя B_{12} подключать два шунта. Первый шунт должен доводить чувствительность микроамперметра до 100 мкА и использоваться в режиме измерения постоянных напряжений, а второй—до $\frac{2\sqrt{2}\cdot 100}{\pi}$ мкА и использоваться в режиме измерения переменных напряжений.

Точная подгонка шунтов производится при настройке прибора. Расширение пределов измерения свыше 3 В осуществляется, как и при измерении постоянных напряжений, с помощью входного делителя R_{14}, R_{16}. Однако входной делитель из двух резисторов пригоден только для измерений на низких частотах. На частотах свыше нескольких десятков килогерц входная емкость вольтметра становится шунтом, который изменит соотношение напряжений в делителе. Для сохранения постоянного коэффициента деления на высоких частотах вводятся корректирующие конденсаторы C_1 и C_2.

Частотный диапазон измерения переменных напряжений практически полностью определяется частотной характеристикой операционного усилителя на $МС_3$—$МС_5$. То же самое относится и к стабильности амплитудной характеристики, которая определяется в основном дрейфом нуля операционного усилителя (о построении операционного усилителя речь пойдет позже).

Измерение токов. Постоянные и переменные токи измеряют по классической схеме измерения падения напряжения на резисторе с известным сопротивлением (рис. 5). Шкала измерения переменных напряжений линейна, поэтому для токов получается тоже линейная шкала.

Рис. 4. Дополнительный набор резисторов обратной связи для измерения действующих значений синусоидального напряжения.

Для уменьшения числа прецизионных резисторов, входящих в сложный шунт при измерении токов, и уменьшения падения напряжения на шунте используются только два фиксированных предела измерения напряжения 100 и 300 мВ с сопротивлениями обратной связи $R_{30}=1$ кОм и $R_{31}=$ $=3$ кОм соответственно. Из-за малого сопротивления шунта на

пределах 1 и 3 А для исключения переходного сопротивления переключателя шунт припаивается непосредственно к отдельному гнезду «I, А».

Сопротивления резисторов шунта приведены в табл. 2. Шкала переменных токов проградуирована в средневыпрямленных значениях синусоидального тока. Однако при введении или дополнительного набора сопротивлений обратной связи, или более чувствительного микроамперметра с двумя шунтами, как это предлагалось, шкала

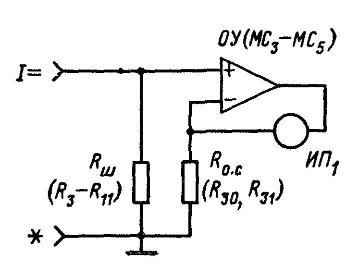


Рис. 5. Структурная схема для измерения постоянных токов.

Рис. 6. Структурная схема для измерения сопротивлений.

переменных токов будет проградуирована в действующих значениях синусоидального тока.

Таблица 2

Шкалы	10—30	100—300	1000—3000
Пределы измерения токов:			
нА	10 МОм	1 МОм	100 кОм
мкА	10 кОм	1 кОм	100 Ом
мА	10 Ом	1 Ом	0,1 Ом

Измерение сопротивлений. При измерении сопротивлений усилитель включается по схеме, изображенной на рис. 6. Малый входной ток и большой коэффициент усиления операционного усилителя обеспечивают режим измерения сопротивлений по линейной шкале.

Измеряемое сопротивление R_x включается в цепь обратной связи усилителя. Ток на входе усилителя задается источником постоянного напряжения $U_{ист}$ и добавочным резистором $R_д$. Так как ток через $R_д$ практически равен току через R_x, то выходное напряжение операционного усилителя определяется уравнением

$$U_{вых} = (U_{ист}/R_д)\, R_x.$$

Величина $U_{ист}/R_д$ постоянна, поэтому выходное напряжение пропорционально измеряемому сопротивлению. Выходное напряжение замеряется вольтметром, который образован стрелочным прибором и переменным калибровочным резистором $R_к$, служащим для калибровки шкалы при измерении сопротивлений. С помощью $R_к$ исключа-

ется влияние вариации постоянного напряжения $U_{ист}$ на точность измерения.

Изменение пределов измерения сопротивлений производится переключением добавочных резисторов $R_д$. Дополнительное расширение пределов измерения осуществляется уменьшением $U_{ист}$ в 10 раз с помощью делителя R_{15}, R_{17} (см. рис. 1).

Сопротивления добавочных резисторов $R_д$ для разных пределов измерения приведены в табл. 3.

Таблица 3

Шкалы	10	100	1000	$U_{ист}$
Пределы измерения сопротивлений $R_д$:				
Ом	10 Ом	100 Ом	1000 Ом	$U_{ист}$
кОм	1 кОм	10 кОм	100 кОм	0,1 $U_{ист}$
МОм	1 МОм	10 МОм	100 МОм	0,1 $U_{ист}$

Следует обратить внимание на то, что при измерении малых сопротивлений на пределе 10 Ом ток, потребляемый от источника постоянного напряжения, может достигать больших значений (при $U_{ист}=1$ В, $R_x=0$ потребляемый ток равен 100 мА). Поэтому в качестве источника постоянного напряжения следует применять элемент типа 373, само же измерение должно быть непродолжительным. Полярность включения источника постоянного напряжения может быть любой, но при этом полярность микроамперметра должна быть противоположного знака.

Как на погрешность измерений, так и на линейность шкалы прибора, особенно при измерении больших сопротивлений, существенно влияет конечное значение входного тока усилителя, которое должно быть не выше 1 нА. Если же оно превышает 1 нА, то при измерении больших сопротивлений дополнительная погрешность может появиться из-за смещения нуля на входе усилителя. Смещение на входе составляет:

$$U_{см} = I_{вх} \frac{R_д R_x}{R_д + R_x},$$

где $I_{вх}$ — ток инвертирующего входа усилителя.

Смещение нуля передается на выход и приводит к дополнительной погрешности. Относительную погрешность изменения измеряемого сопротивления оценивают как

$$\delta R_x \approx \frac{I_{вх}}{U_{ист}/R_{доб}} = \frac{I_{вх} R_{доб}}{U_{ист}} = \frac{I_{вх} R_x}{U_{вых}}.$$

Для компенсации смещения нуля и уменьшения дополнительной погрешности в этом случае целесообразно на пределе измерения «МОм» с помощью дополнительной группы контактов переключателей B_8 и B_7 подключать между корпусом и неинвертирующим входом операционного усилителя резисторы сопротивлением от 10 до 100 МОм. Способ подключения этих резисторов показан на рис. 7.

Смещение нуля при этом будет зависеть от разности входных токов, которая меньше входного тока микросхемы.

При параллельном соединении большого измеряемого сопротивления (между зажимами R и * на рис. 6) и на порядок меньшего $R_д$ результирующее сопротивление от измеряемого сопротивления почти не зависит.

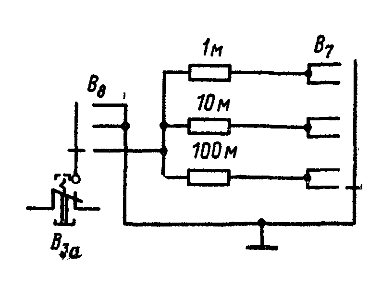


Рис. 7. Схема включения дополнительных резисторов, уменьшающих погрешность измерения сопротивлений при большом входном токе усилителя.

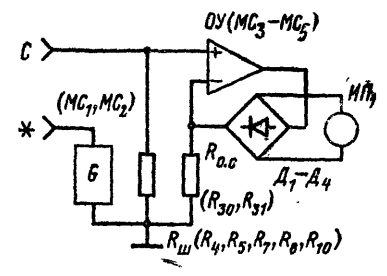


Рис. 8. Структурная схема для измерения емкостей.

Измерение емкостей. Упрощенная схема измерения емкостей конденсаторов приведена на рис. 8. Измеряя переменный ток I_x через испытуемый конденсатор C_x, можно определить его емкость:

$$C_x \approx \frac{I_x}{U_{ген} \cdot 2\pi F_{ген}},$$

где $F_{ген}$ — частота опорного генератора; $U_{ген}$ — напряжение опорного генератора.

Хотя данный метод измерения емкости и уступает по точности мостовому, однако он более просто реализуется и позволяет получить точность измерения 5%. Ограничение на диапазон измеряемых емкостей, с одной стороны, оказывает входная емкость прибора, достигающая 25—30 пФ. С другой стороны, диапазон измеряемых емкостей ограничивается максимальиым выходным током низкочастотного генератора и минимальной частотой, на которой производится измерение. Для повышения точности измерения в приборе использовано в качестве опорного напряжение треугольной формы. Изменение пределов измерения производится как переключением частоты генератора, так и переключением шунтов $R_ш$. В качестве шунта используются те же резисторы, что и при измерении токов с небольшим отличием Это видно из табл. 4, в которой приведены требуемые сопротивления шунта при измерении емкостей. Падение напряжения на приборе, как и при измерении токов, составляет 100 и 300 мВ.

Измерение индуктивностей. Измерение индуктивностей основано на измерении падения напряжения на неизвестной катушке L_x и осуществляется по схеме, изображенной на рис. 9. Ток низкой частоты задается с помощью генератора и набора добавочных резисторов $R_д$

Таблица 4

Шкалы	10—30	100—300	1000—3000	Частота генератора
Пределы измерения емкости:				
пФ	10 МОм	1 МОм	100 кОм	200—300 Гц
нФ	10 кОм	1 кОм	100 Ом	200—300 Гц
мкФ	1 КОм	100 Ом	10 Ом	2—3 Гц

определенного сопротивления. При выполнении условия $R_д > 2\pi F_{ген} L_x$ получим:

$$L_x \approx \frac{U_x R_д}{U_{ген} 2\pi F_{ген}},$$

где U_x — падение напряжения на катушке L_x, которое пропорционально измеряемой индуктивности.

Рис. 9. Структурная схема для измерения индуктивностей.

Для изменения пределов измерения индуктивности кроме переключения $R_д$ производится переключение частоты генератора треугольного напряжения. На ограничение диапазона измеряемых индуктивностей влияют конечная выходная мощность низкочастотного генератора и ограниченная полоса частот операционного усилителя, в пределах которых необходимо производить измерения. Пределы измерения индуктивностей и частота генератора выбираются так, чтобы можно было применить те же $R_д$, что и при измерении постоянных сопротивлений.

Сопротивления $R_д$ при измерении индуктивностей приведены в табл. 5.

Таблица 5

Шкалы	10—30	100—300	1000—3000	Частота генератора
Пределы измерения индуктивности:				
мкГ	10 Ом	100 Ом	1 кОм	20—30 кГц
мГ	1 кОм	10 кОм	100 кОм	2—3 кГц

Как и при измерении постоянных сопротивлений, в режиме измерения емкостей и индуктивностей производятся калибровка и подстройка прибора по прецизионным конденсатору или катушке путем

изменения амплитуды выходного напряжения генератора импульсов треугольной формы.

Измерение частоты. Измерение частоты в приборе производится по той же схеме, что и измерение емкостей конденсаторов. Но теперь уже измеряется ток через конденсатор известной емкости, который пропорционален измеряемой частоте (рис. 10). Диапазон измеряемых частот сверху ограничен полосой пропускания операционного усилителя (150 кГц), снизу — частотой измеряемого сигнала, при которой возникают механические колебания стрелки прибора (5—10 Гц). Изменение пределов измерения частоты производят переключением конденсаторов C_{11}, C_{12}. Для нормировки амплитуды входного напряжения используется микросхема $МС_1$ в качестве формирователя. На ее выходе независимо от формы входного напряжения получаются прямоугольные импульсы одной и той же амплитуды.

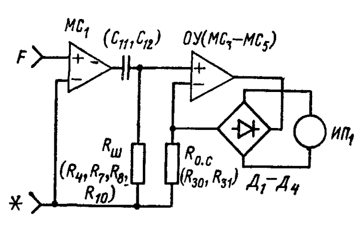


Рис. 10. Структурная схема для измерения частоты.

Автономную проверку (калибровку) в этом режиме измерения можно проводить с помощью генератора треугольного напряжения, состоящего только из $МС_2$. Для этого с помощью кнопки $В_{13}$ вывод *9*$МС_2$ подключают к выводу *10*$МС_1$. Для калибровки необходимо знать частоту генератора треугольного напряжения.

Коммутация всех режимов измерения осуществляется с помощью пятикнопочного переключателя с зависимой фиксацией $В_1$—$В_5$. При этом режим измерения частоты включается нажатием кнопки $В_5$ («*С*») и кнопки с независимой фиксацией $В_6$ («*F*»).

Изменение пределов измерения производится с помощью переключателя на три положения $В_{8а}$—$В_{8к}$, а изменение шкал — с помощью переключателя на шесть положений $В_{7а}$—$В_{7г}$.

Трехкнопочный переключатель с зависимой фиксацией $В_9$, $В_{10}$, $В_{12}$ изменяет полярность включения стрелочного прибора $ИП_1$ при измерении постоянных токов и напряжений и включает его в диагональ диодного моста $Д_1$—$Д_4$ при измерении переменных токов и напряжений, емкостей и индуктивностей.

Схема калибровки построена так, что в режиме измерения сопротивлений и индуктивностей калибровочный резистор R_1 или калибровочная катушка L_1 подключены к прибору и при нажатии кнопки $В_{13}$ отключаются. При измерении емкостей калибровочный конденсатор $С_3$, наоборот, подключается к прибору при нажатии кнопки $В_{13}$.

В качестве калибровочных резистора, конденсатора и катушки желательно применить прецизионные элементы с номиналами, близкими к тем пределам, где наиболее часто предполагается проводить измерения и на которых желательно иметь наивысшую точность. Индуктивность калибровочной катушки должна быть измерена на частоте, близкой к той, которая применяется в приборе или же частота измерения должна быть по крайней мере раз в десять ниже собственной частоты катушки. Это необходимо для того, чтобы разница между измеренной и истинной индуктивностью была возможно меньше. Чтобы в разных режимах измерения калибровку произво-

дить вращением одной и той же ручки, в приборе применен сдвоенный резистор R_{18}, R_{36}.

Тумблер B_{15} («Измерение — нуль») в положении «Нуль» отключает вход источника измеряемого напряжения и соединяет вход операционного усилителя с «землей», что позволяет контролировать уход нуля вольтметра, не отключая прибора.

Кнопка с фиксацией B_{14} служит для включения прибора. При выключенном приборе нажатием кнопки без фиксации B_{11} контролируются питающие напряжения. В зависимости от того, какая кнопка нажата — B_9 или B_{10}, замеряется с помощью стрелочного прибора и добавочных резисторов R_{12}, R_{13} напряжение батарей $Б_1$ и $Б_2$ соответственно (±6 В). Номиналы резисторов R_{12} и R_{13} равны между собой и выбираются исходя из значения измеряемого напряжения батарей. Для 10-вольтовой шкалы и 100 мкА стрелочного прибора R_{12} и R_{13} приблизительно составляют по 100 кОм.

Операционный усилитель и генератор треугольного напряжения. В универсальном измерительном приборе усилитель на микросхемах $МС_3$—$МС_5$ является основным элементом, используемым во всех режимах измерения. Из рассмотрения работы прибора в разных режимах следует, что усилитель должен отвечать высоким требованиям. Коэффициент усиления по постоянному току при разомкнутой цепи обратной связи должен быть свыше 10 тыс. Полоса пропускания при единичном усилении должна достигать нескольких сотен килогерц. Особые требования предъявляются к дрейфу нуля (не выше 50—100 мкВ/°С) и значению входного тока (не выше 10^{-10} А). Максимальное выходное напряжение должно быть менее ±3—4 В.

Для выполнения этих требований операционный усилитель в приборе собран на трех микросхемах. Микросхемы $МС_4$ и $МС_5$ работают во входном каскаде, представляющем истоковый повторитель со стабилизатором тока. Применение идентичных полевых транзисторов, входящих в микросхему $МС_4$ КПС104, обеспечивает большое входное сопротивление и малый дрейф нуля операционного усилителя. Идентичные транзисторы, входящие в микросхему $МС_5$ К1НТ591Б, включенные стабилизатором тока по схеме «зеркало тока», повышают коэффициент ослабления синфазной составляющей.

Основное усиление операционному усилителю дает микросхема $МС_3$ К1УТ402. (Вывод *5* $МС_3$ соединяется с правым контактом B_{33} — на схеме не показан.) Это интегральный операционный усилитель, который требует внешних элементов коррекции C_9 и C_4, R_{34}.

При построении операционного усилителя необходимо руководствоваться следующим.

Основной дрейф нуля возникает во входном каскаде, поэтому в нем должны применяться подобранные пары транзисторов. При отсутствии микросхемы КПС104 можно подобрать идентичные полевые транзисторы, например типа КП302, КП303. Для этого требуется батарея напряжением 9 В, миллиамперметр на ток 5 мА и один элемент 332. Миллиамперметр отрицательным выводом нужно подключить к стоку полевого транзистора, а положительным к +9 В батареи. Отрицательный вывод батареи следует подключить к истоку полевого транзистора. При отключенном затворе нужно заметить показание миллиамперметра. Затем следует подключить элемент плюсом к истоку, а минусом к затвору и замерить ток стока, который теперь должен быть меньше. Два показания миллиамперметра сравнивают для подбираемых транзисторов. Если транзисторы отличаются по двум показаниям более чем на 10%, то их применять сов-

местно не следует. Кстати, чем больше разница первого и второго показаний миллиамперметра, тем выше усилительные свойства проверяемого транзистора.

Может оказаться, что ток затвора полевых транзисторов превышает 1 нА. В таком случае во входную цепь прибора следует ввести резистор, уменьшающий падение напряжения из-за входного тока на входном делителе. Это можно сделать, например, с помощью дополнительной группы контактов переключателя B_7, как показано на рис. 11. Вводимое сопротивление должно быть таким, чтобы заметно снизить паразитное падение напряжения на делителе и одновременно не изменить коэффициент деления входного делителя. По этим соображениям это сопротивление должно составлять 500 кОм.

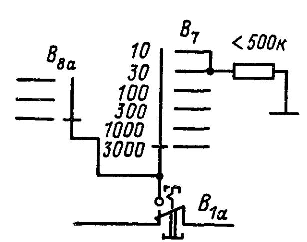


Рис. 11. Схема включения дополнительного резистора, уменьшающего смещение нуля усилителя.

Несколько слов о генераторе треугольного напряжения, собранном на микросхемах MC_1 и MC_2. Треугольное напряжение в приборе выбрано, во-первых, для повышения точности измерения (особенно на очень низкой частоте), во-вторых, из-за простоты формирования. Микросхема MC_2 используется в режиме генератора благодаря положительной обратной связи с ее выхода *5* на неинвертирующий вход *10* и перезаряда конденсаторов C_5—C_8 через резистор R_{22}, включенный между выходом и инвертирующим входом MC_2. Хотя перезаряд емкости конденсатора идет по экспоненциальному закону, при помощи резисторов R_{24} можно подобрать глубину обратной связи такой, что перезаряд происходит на начальном линейном участке экспоненты. Получаемое на конденсаторе треугольное напряжение имеет хорошую линейность, однако малую амплитуду. Поэтому для усиления треугольного напряжения используется вторая микросхема MC_1, включенная как неинвертирующий усилитель с регулируемым коэффициентом усиления. Изменяя глубину отрицательной обратной связи с помощью резистора R_{18}, можно регулировать амплитуду напряжения треугольной формы на выходе генератора.

Частоту генератора можно измеиять переключением конденсаторов C_5, C_6 в режиме измерения индуктивностей и C_7, C_8 — в режиме измерения емкостей. Емкости конденсаторов C_5, C_6 должны различаться в 10 раз, а C_7, C_8 — в 100 раз с точностью 2—5%, так как калибровка и для индуктивностей, и для емкостей производится лишь на одном пределе измерения.

КОНСТРУКЦИЯ ПРИБОРА И ЕГО НАЛАЖИВАНИЕ

Универсальный измерительный прибор выполнен в виде переносной конструкции. Микроамперметр и источники питания укрепляются в левой части корпуса прибора, все остальное — в правой. На передней панели прибора (ее размеры приведены на рис. 12) расположены тумблер «Нуль — измерение», входные зажимы прибора, переключа-

тели шкал и пределов, режимов измерения и полярности, кнопки калибровки и включения прибора, ручки калибровочных резисторов и ручки установки нуля. Внешний вид прибора изображен на рис. 13.

Стрелочный прибор типа М266 и батарея из восьми элементов 332, элемент 373 крепятся на скобе, размеры которой приведены на рис. 14. Свободное пространство под стрелочным прибором используется для размещения соединительных проводников, щупов и сверху закрывается крышкой.

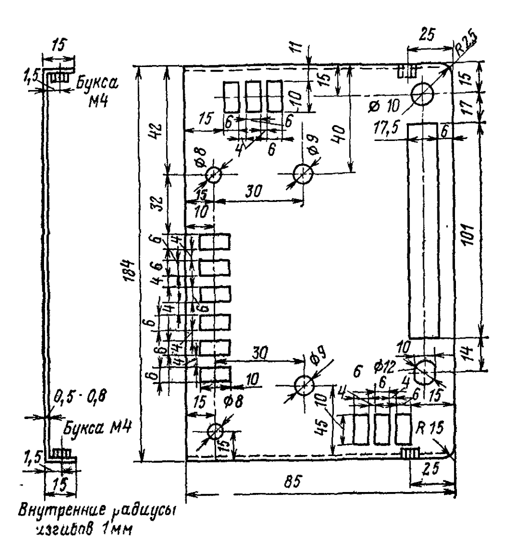


Рис. 12. Передняя панель прибора.

Операционный усилитель и генератор треугольного напряжения размещаются на печатных платах, разводка которых дана на рис. 15, *а*, *б*. Остальные детали: резисторы и конденсаторы — размещаются на стойках или распаиваются непосредственно на ламелях переключателей (рис. 16).

Конструкция прибора во многом зависит от применяемых в приборе переключателей и стрелочного прибора.

В качестве стрелочного прибора можно использовать микроамперметры М24, М265 и другие с током полного отклонения 100 мкА. Стрелочный прибор должен иметь две линейные шкалы: первую — на 100 делений, вторую — на 300 делений. При отсутствии второй шкалы у микроамперметра ее наносят от руки. Такой выбор шкал позволяет проводить отсчеты в интервалах от 30 до 100 и от 100 до 300 делений.

Переключатель B_6 галетного типа ПГЗ на три положения (ПГЗ-3П12Н), переключатель B_7 типа ПГ2 на шесть положений (ПГ2-11-6П6НТ). Тумблер B_{15} типа П1Г2-1Т. Остальные переключатели кнопочные типа П2К. Можно применить и другие переключатели, но при этом размеры прибора увеличатся.

Рис. 13. Внешний вид универсального измерительного прибора.

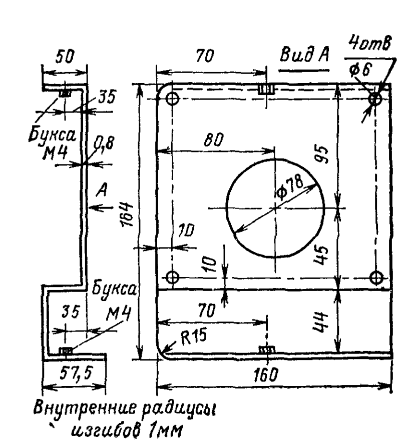


Рис. 14. Скоба для крепления микроамперметра.

Сопротивления резисторов R_1—R_{11}, R_{14}—R_{17}, R_{28}—R_{33} должны быть подобраны с точностью 0,5—1 %.

Микросхема КПС104 ($МС_4$, см. приложение) может быть заменена микросхемой КПС202 или двумя подобранными транзисторами типа КП302, КП303. Корпуса подобранных транзисторов желательно склеить. Микросхема К1НТ591Б ($МС_5$) может быть заменена микросхемой К1НТ291 или двумя однотипными транзисторами с близкими параметрами типа КТ315, КТ312, КТ306 и др. Микросхема К1УТ402Б

(MC_3) может быть заменена любым интегральным операционным усилителем с коэффициентом усиления больше 10 тыс., выходным напряжением не менее ±3 В и с полосой пропускания в несколько сотен килогерц.

Три микросхемы операционного усилителя можно заменить более совершенным операционным усилителем на одной микросхеме типа К284УД1А—К284УД1В с полевыми транзисторами на входе. Этот

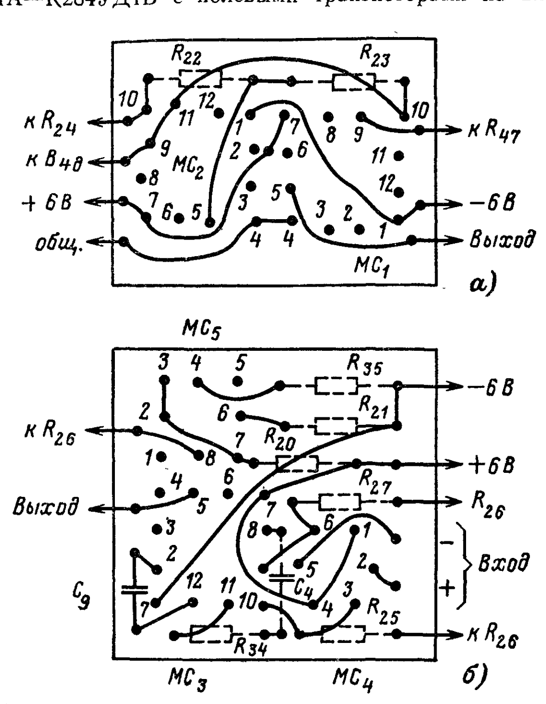


Рис. 15. Разводки печатных плат генератора треугольного напряжения и операционного усилителя (М1 : 1).

операционный усилитель имеет коэффициент усиления на частоте 1000 Гц более 20 тыс, температурный дрейф нуля менее 50 мкВ/°С, входное сопротивление по постоянному току более 150 МОм. При единичном усилении он допускает частоту 4 МГц. Потребляемый ток 2,5 мА. Схема включения операционного усилителя в прибор приведена на рис. 17. Преимущества такого операционного усилителя очевидны: упрощение монтажа (вместо трех микросхем используется только одна), повышение стабильности работы прибора, расширение области частот, в которой он может работать. Наконец, большая экономичность, применение только одного элемента коррекции. Напряжение источников питания операционного усилителя на микросхемах К284УД1А—К284УД1В составляет ±9 В. Для питания можно применить две «Кроны» или две аккумуляторные батареи 7Д-01.

При сборке и монтаже прибора нужно придерживаться следующей последовательности.

1. Распаять на печатных платах детали операционного усилителя и генератора треугольных импульсов, а на планках с контактами — прецизионные резисторы.

2. Укрепить на передней панели все переключатели и осуществить взаимное соединение их контактных групп.

Рис. 16. Вид прибора со снятым кожухом.

3. Установить на передней панели с помощью стоек платы операционного усилителя и генератора треугольных импульсов, планки с прецизионными резисторами, переменные резисторы установки нуля и калибровки. Укрепить входные гнезда прибора.

4. Произвести монтаж и распайку оставшихся деталей прибора и взаимных соединений согласно схеме.

5. На переднюю панель прикрепить фальшь-панель и нанести на нее обозначения органов управления и входных зажимов.

Применяемый в приборе операционный усилитель работает с малыми входными токами, поэтому особое внимание следует уделить чистоте как печатной платы, на которой он собирается, так и чистоте применяемых деталей, их выводов. По окончании монтажа места соединений

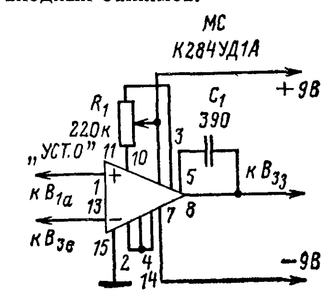


Рис. 17. Схема включения операционного усилителя К284УД1.

очищают от остатков флюса, грязи и пыли путем протирания ватным тампоном, смоченным каким-либо растворителем.

Зажимы прибора устанавливают на фторопластовую пластину. Монтаж входных цепей прибора выполняется с использованием провода во фторопластовой изоляции типа МГТФ. Следует подчеркнуть, что данный прибор имеет высокую чувствительность, поэтому он может реагировать на всякого рода наводки и помехи. Для борьбы с ними прибор должен быть хорошо экранирован. Корпус прибора должен представлять собой глухой кожух из проводящего материала. Его можно изготовить из пластмассы (оргстекло, гетинакс, текстолит), но при этом внутри оклеить медной или латунной фольгой. Хороший корпус получается из фольгированного стеклотекстолита.

После сборки стыки соединений корпуса тщательно пропаивают. Отсек, в котором располагается операционный усилитель, должен быть пыле- и светонепроницаемым. Желательно туда же поместить осушитель (силикагель или пятиокись фосфора).

Налаживание прибора. К настройке и проверке прибора следует приступать только после тщательной проверки монтажа печатных плат операционного усилителя, генератора треугольного напряжения и всех взаимных соединений в приборе. Убедившись, что монтаж прибора выполнен верно, переходят к его налаживанию.

Вначале проверяют и налаживают операционный усилитель, генератор треугольного напряжения, затем налаживают прибор в целом во всех режимах измерения.

Проверку операционного усилителя удобно проводить вне прибора. Для этого включают усилитель по схеме измерения напряжений, изображенной на рис. 2. В цепь обратной связи включают резистор сопротивлением 100 Ом. Два признака свидетельствуют об исправной работе операционного усилителя. Это, во-первых, отсутствие зашкаливания стрелки прибора и, во-вторых, небольшой ток потребления (приблизительно 4 мА как от положительного, так и отрицательного источников напряжения). Если эти оба признака присутствуют, следует выставить нуль операционного усилителя с помощью резистора «Уст.0». Может оказаться, что его сопротивление мало и нуль находится на пределе регулировки. В этом случае добавляют в соответствующее плечо переменного резистора постоянный резистор сопротивлением 100—300 Ом и добиваются того, чтобы стрелка прибора на нулевой отметке находилась при среднем положении ручки резистора.

Если окажется, что стрелка прибора зашкаливает резко или у операционного усилителя повышен ток потребления, проверяют режим операционного усилителя, исправность примененных в нем деталей и, самое главное, устойчивость его работы. Возбуждение, паразитная генерация усилителя может быть обнаружена с помощью осциллографа, подключаемого входом «*У*» к выходу усилителя *5* микросхемы MC_3. Мерой борьбы с генерацией усилителя является подбор корректирующих элементов. Однако нужно помнить, что при коррекции существенное увеличение номиналов C_9, C_4 приведет к сужению полосы пропускания усилителя.

После установки нуля проверяют входной ток операционного усилителя. Для этого между неинвертирующим входом и «землей» включают резистор сопротивлением 10 МОм. Если стрелка прибора отклонилась более чем на 5—10% от всей шкалы, то целесообразно вход прибора выполнить по схеме, приведенной на рис. 11.

Следующая проверка заключается в измерении максимального выходного напряжения усилителя. Для этого включают резистор обратной связи (см. рис. 2) сопротивлением 40 кОм, а между неинвертирующим входом и «землей» включают два последовательно соединенных элемента 332. Стрелка прибора в этом случае должна отклоняться почти на всю шкалу. Изменив полярность элементов на входе и полярность микроамперметра, убеждаются, что показания прибора те же самые.

Последняя проверка усилителя сводится к измерению его полосы пропускания. Для этого при сопротивлении обратной связи 1 кОм на вход операционного усилителя от звукового генератора подают синусоидальное напряжение амплитудой 50—75 мВ и частотой порядка 1000 Гц. Амплитуду выходного напряжения звукового генератора контролируют по параллельно включенному ему милливольтметру типа, например, В3-38. Увеличивая частоту напряжения, подаваемого от генератора, и поддерживая его амплитуду постоянной, фиксируют показания стрелочного прибора на выходе усилителя. При уменьшении его показаний в 0,7 раза замечают частоту напряжения, подаваемого с генератора. Эта частота и определяет полосу пропускания операционного усилителя. Она не должна быть ниже *150—200* кГц.

Налаживание генератора треугольного напряжения на микросхемах MC_1 и MC_2 лучше всего проводить с помощью осциллографа. К плате с генератором треугольного напряжения подключают питание и резистор, регулирующий усиление, а в качестве внешней емкости, задающей частоту треугольного напряжения, подключают конденсатор емкостью 0,15 мкФ. Вход «*У*» осциллографа подключают к выходу *9* микросхемы MC_2 и убеждаются в наличии треугольного напряжения. Затем с помощью подстроечного резистора R_{24} подбирают такую глубину положительной обратной связи, чтобы амплитуда треугольного напряжения на выводе *9* MC_2 составляла 25—50 мВ. Подключив вход осциллографа к выходу микросхемы MC_1, убеждаются в устойчивой работе усилителя и в плавной регулировке амплитуды треугольного напряжения на его выходе.

В некоторых случаях для устойчивой работы усилителя треугольного напряжения между выводами *3* и *4* MC_1 необходимо включить конденсатор емкостью 30—40 пФ, а между выводами *1* и *12* — последовательно включенные резистор сопротивлением 100 Ом и конденсатор емкостью 1000 пФ. Максимальная амплитуда выходного треугольного напряжения должна быть не менее 2—3 В. После проверки генератор треугольного напряжения может быть установлен в корпус.

Методика налаживания прибора со встроенными в него операционным усилителем и генератором треугольного напряжения также сводится к проверке цепи установки нуля, отсутствия возбуждения во всех режимах измерения, возможности калибровки прибора в режиме измерения сопротивлений и наличия на гнезде «* » треугольного напряжения в режимах измерения индуктивностей и емкостей. После этих общих проверок приступают к проверке прибора конкретно в каждом режиме измерения на каждом его пределе. Проверка должна производиться после 3—5-минутного прогрева универсального измерительного прибора.

При проверке прибора в режиме измерения постоянных напряжений и токов в качестве образцовых следует применять приборы магнитоэлектрической системы с классом точности не хуже 0,5%.

Образцовый прибор подключают параллельно входным зажимам прибора, на которые подается постоянное напряжение разного значения. Образцовые приборы желательно выбирать так, чтобы их верхний предел отличался от верхнего предела измерения проверяемого прибора не более чем на 5%.

Результаты измерения основной погрешности (в процентах), проведенные автором при испытании прибора на установке В1-4 (для проверки электронных вольтметров) в режиме измерения постоянных напряжений, приведены в табл. 6.

Таблица 6

Шкалы	10	30	100	300	1000	3000
Пределы измерения напряжений:						
мВ	0,6	0,1	0,2	0,2	0,4	0,2
В	1,5	1,7	2,0	2,0	—	—

Перед проверкой прибора в режиме измерения переменных напряжений производится его подстройка по частоте. Для этого на вход прибора от звукового генератора подают напряжение частотой 1000 Гц с такой амплитудой, чтобы стрелка прибора совместилась с последним делением десятивольтовой шкалы. Затем на вход прибора подают напряжение частотой 50 кГц той же амплитуды и, вращая ротор конденсатора C_1, устанавливают стрелку прибора опять на последнее деление шкалы. Необходимо иметь в виду, что линейность шкалы прибора при измерении напряжений свыше 50 кГц нарушается.

Результаты измерения основной погрешности одного из образцов прибора (в процентах) в этом режиме на установке В1-4 приведены в табл. 7.

Таблица 7

Пределы измерения напряжений на частоте 1000 Гц	Входное напряжение, мВ								
	3	6	10	30	60	100	300	600	1000
10 мВ	6,5	2,5	1,5	—	—	—	—	—	—
100 мВ	—	—	—	5,5	3	1,5	—	—	—
1000 мВ	—	—	—	—	—	—	4,8	2,4	1,5

Проверку прибора в режимах измерения сопротивлений, емкостей и индуктивностей удобнее всего производить по образцовым резисторам, конденсаторам и катушкам. Их значение должно быть подобрано с точностью 1—2% и составлять 0,8—1 верхнего предела каждого поддиапазона.

РАБОТА С ПРИБОРОМ

1. Перед включением прибора необходимо установить корректором стрелку на нулевую отметку и проверить питающие напряжения. Для этого, нажав кнопку B_9 «+», а затем кнопку B_{11}, по десятивольтовой шкале измеряют напряжение источника положительного знака; нажав кнопку B_{10} «—», а также кнопку B_{11}, измеряют напряжение источника отрицательного знака. Если питающие напряжения того и другого знака находятся в пределах 5—6 В, кнопкой B_{14} включают прибор. Дав прибору прогреться 3—5 мин, переходят к измерениям.

2. Режим измерения напряжения задается нажатием кнопок B_1 «U» и B_9 «+» или B_{10} «—» или B_{12} «~». После этого переключателями B_8 и B_7 устанавливают предел измерения 10 мВ, а тумблер B_{15} ставят в положение «Нуль». Ручкой «Уст.0» совмещают стрелку прибора с нулевой отметкой шкалы. Затем переключателями B_8 и B_7 выбирают нужный предел измерения и подают на вход «$=U$» или «$\sim U$» измеряемое напряжение. Тумблер B_{15} ставят в положение «Измерение» Если при измерении постоянных напряжений стрелка отклоняется влево, необходимо изменить полярность измеряемого напряжения кнопками B_9 «+» или B_{10} «—». Абсолютное значение постоянного напряжения можно измерять при нажатой кнопке B_{12} «~».

При измерении переменных напряжений для повышения точности переключатель пределов измерения B_7 нужно ставить в такое положение, чтобы не производить отсчет показаний на начальной трети шкалы. При измерении малых переменных напряжений рекомендуется убедиться, что на вход вольтметра поступает только измеряемое напряжение, а не какие-либо наводки, помехи.

Если при измерениях на малых пределах окажется, что соединительные провода являются антеннами и на них наводится напряжение помех, то нужно для соединения входа прибора с источником измеряемого напряжения применить экранированный кабель, подключаемый к специальному высокочастотному разъему $Гн_7$ (ВЧ) (третье положение B_8). К этому же высокочастотному разъему можно подключать детекторную головку (рис. 18) для измерения высокочастотных напряжений до 100 МГц. Однако при этом шкала получается нелинейная и ее нужно отградуировать с помощью генератора стандартных сигналов.

В некоторых случаях при измерении напряжений в высокоомных цепях может оказаться также полезным использование ВЧ гнезда $Гн_7$. При этом роль сопротивления утечки для входного тока операционного усилителя выполняет внутреннее сопротивление измеряемого источника напряжения. Вольтметр с таким высокоомным входом (входное сопротивление в этом случае на постоянном токе составляет 150—200 МОм) может применяться для измерения самых различных электрических и неэлектрических величин, преобразованных в пропорциональное им напряжение. Для этого могут быть использованы всевозможные емкостные, пьезоэлектрические и подобные им датчики.

3. При измерении постоянных и переменных токов необходимо нажать на кнопку B_2 «I», а измеряемые токи подавать на гнездо «I» или «IA» (на пределах 1—3 А).

4. Измерение сопротивлений производят в такой последовательности. Включают режим «R» кнопкой B_3, нажимают кнопку B_{10} «—»

и переключателями B_8 и B_7 устанавливают предел, равный сопротивлению калибровочного резистора. Например, для калибровочного резистора $R_1=1000$ Ом B_8 ставят в положение «омы», а B_7 — в положение «1000» и переменным резистором R_{36} совмещают стрелку с последним делением шкалы. Затем подключают к зажимам измеряемый резистор и нажимают кнопку B_{13}, а переключателями B_8 и B_7 устанавливают наиболее удобный для измерения предел. Важно запомнить последовательность операций при измерении сопротивлений: калибровка, подключение измеряемого сопротивления и только потом нажатие кнопки B_{13} «Измерение». Нажатие кнопки B_{13} без подключенного к зажимам измеряемого резистора нежелательно.

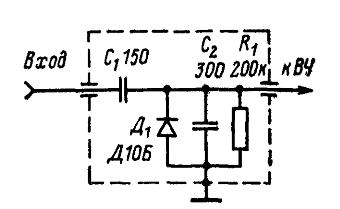


Рис. 18. Схема детекторной головки.

Прибор можно использовать и в качестве пробника. Когда не требуется большой точности, переключателями B_8 и B_7 устанавливают предел, равный сопротивлению калибровочного резистора R_1, а переменным резистором R_{36} устанавливают стрелку в конец шкалы и по тому, насколько отклоняется влево стрелка относительно середины, судят о приближенном сопротивлении проверяемой цепи.

5. При измерении емкостей нажимают кнопку B_5 «C» и кнопку B_{12} «$\sim$», а переключателями B_8 и B_7 устанавливают предел, равный емкости калибровочного конденсатора. Например, для C_1 в 1000 пФ B_8 ставят в положение «пФ», а B_7 — в положение «1000». Подстройку производят при нажатой кнопке B_{13}, вращая переменный резистор R_{18} до совмещения стрелки прибора с последним делением шкалы. Кнопку B_{13} отпускают и подключают измеряемый конденсатор к зажимам прибора.

6. При измерении индуктивностей нажимают кнопки B_4 «L» и B_{12} «$\sim$», а переключатели B_8 и B_7 ставят в положения, соответствующие калибровочной индуктивности. Ручкой переменного калибровочного резистора R_{18} совмещают стрелку прибора с последним делением шкалы. Затем подключают измеряемую катушку к зажимам прибора и нажимают кнопку B_{13} «Измерение».

7. При измерении частоты нажимают кнопки B_5 «C» и B_6 «F». Переключателями B_8 и B_7 устанавливают предел 1000 или 3000 Гц. Затем нажимают кнопку калибровки B_{13} и убеждаются по показаниям прибора в его работоспособности в данном режиме. После этого подключают источник переменного напряжения неизвестной частоты к зажимам «F» и «*» и, установив переключателями B_8 и B_7 наиболее удобный предел, проводят измерение.

8. Генератор треугольного напряжения на микросхемах $МС_1$ и $МС_2$ может самостоятельно применяться для налаживания низкочастотной аппаратуры. В зависимости от требуемой частоты включают режим измерения индуктивностей или емкостей. В режиме измерения индуктивностей (при нажатой кнопке B_4) переключатель B_7 должен быть или в положении «1000» или «3000». Если B_8 находится в положении «мкГ», то частота треугольного напряжения, действующего на гнезде «*» относительно корпуса прибора, составляет около

20 кГц и около 2 кГц, если B_8 находится в положении «мГ». В режиме измерения емкостей частота треугольного напряжения равна приблизительно 200 Гц при положении переключателя B_8 «пФ» или «нФ» и около 2 Гц в положении B_8 «мкФ». Амплитуду выходного треугольного напряжения можно изменять переменным резистором R_{18}.

Для питания прибора в стационарных условиях можно применить стабилизированный выпрямитель, схема которого изображена на рис. 19. Сетевое напряжение понижается трансформатором Tp_1 и

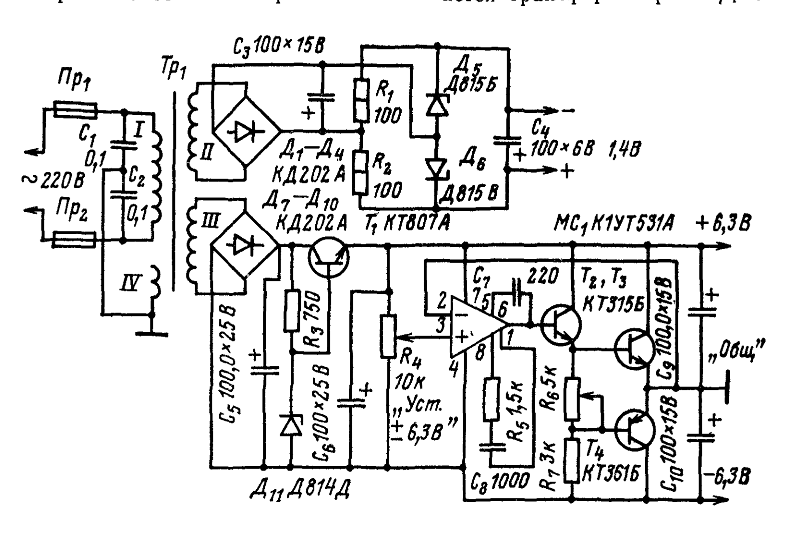


Рис. 19. Стабилизированный выпрямитель.

выпрямляется мостовым выпрямителем $Д_7$—$Д_{10}$. Параметрический стабилизатор напряжения обеспечивает на выходе стабилизированное напряжение 12,6 В. С помощью схемы симметрирования на микросхеме $МС_1$ и транзисторах T_2—T_4 оно превращается в двуполярное напряжение ±6,3 В.

С помощью переменного резистора R_4 осуществляется предварительная установка напряжений ±6,3 В. Микросхема $МС_1$ работает как компаратор, в котором сравниваются напряжения средней точки на выходе выпрямителя и напряжение установки симметрии, снимаемое с движка переменного резистора R_4. В зависимости от того, какое из них больше, происходят открывание верхнего или нижнего плеча выходного каскада симметрирования и выравнивание напряжений. Цепочка из резистора R_5 и конденсатора C_8, а также конденсатор C_7 служат для предотвращения самовозбуждения операционного усилителя. Резистор R_6 предназначен для установки тока выходных транзисторов значением 5—10 мА.

Напряжение с обмотки *II* трансформатора Tp_1 выпрямляется диодным мостом $Д_1$—$Д_4$ и также подается на стабилизатор напряжения, собранный на стабилитронах $Д_5$, $Д_6$ по разностной схеме, в результате чего на выходе получается напряжение 1,4 В.

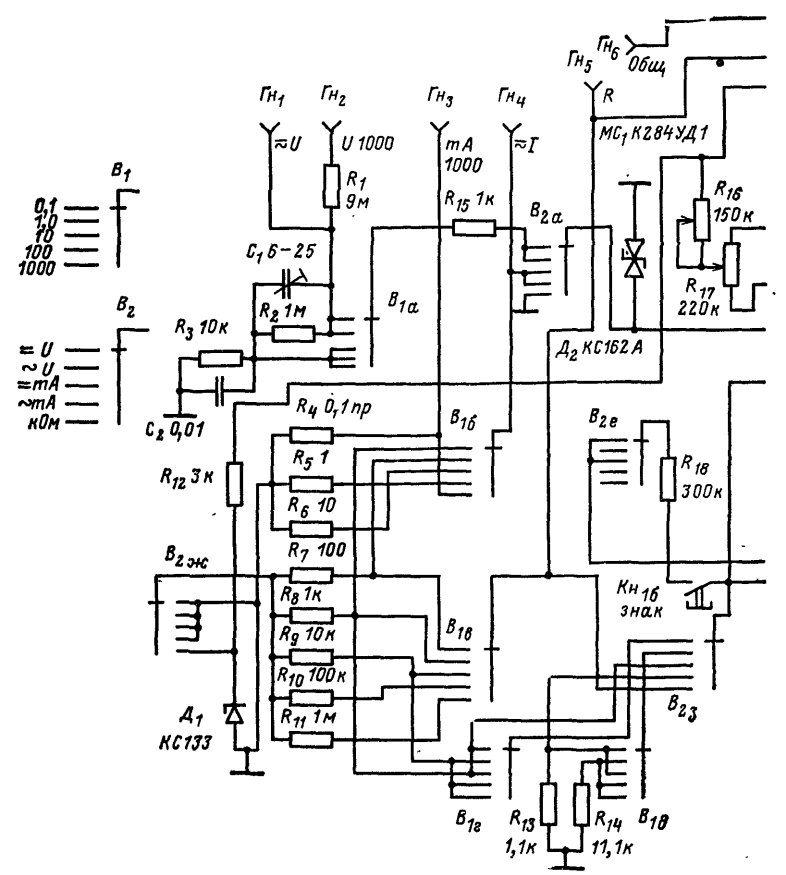


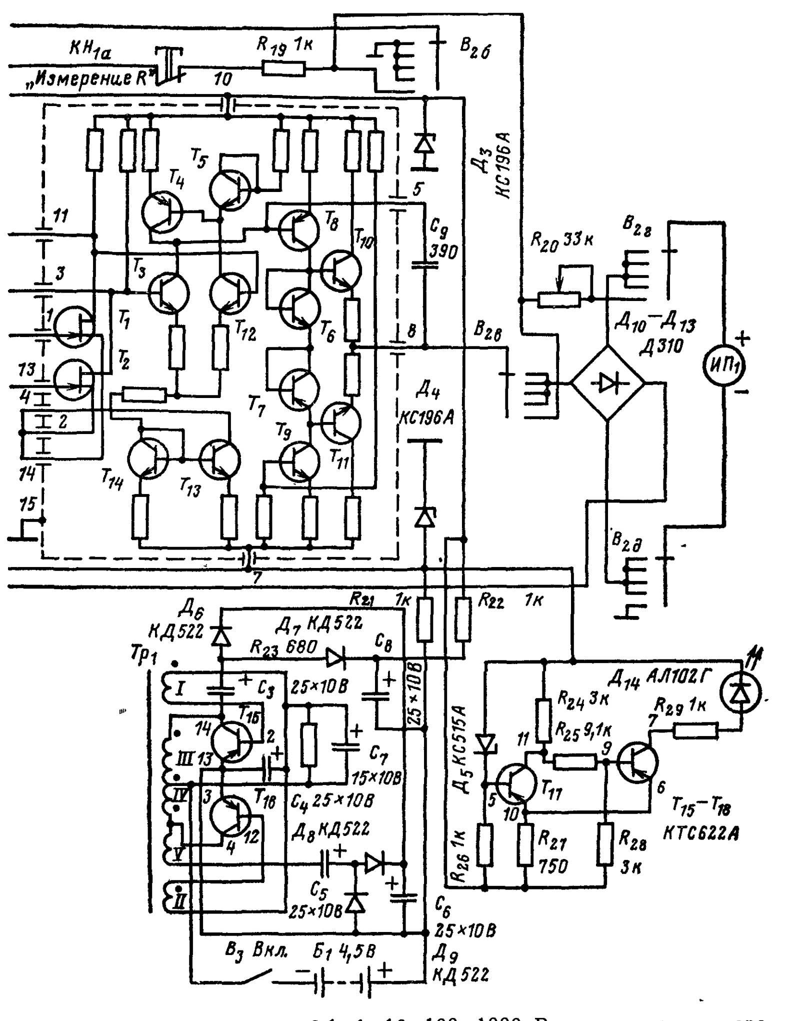
Рис. 20. Модифицированный вариант универсального измерительного прибора.

Трансформатор $Тр_1$ выполнен на сердечнике Ш16×32. Обмотка *I* содержит 2200 витков провода ПЭВ-1 0,16, обмотка *II* 150 витков провода ПЭВ-1 0,69 и обмотка *III* 210 витков провода ПЭВ-1 0,35. Экран между сетевой и вторичной обмотками сделан в виде слоя провода ПЭВ-1 0,16.

В некоторых случаях можно пользоваться и более простыми схемами стабилизированных выпрямителей.

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ВАРИАНТ ПРИБОРА

В отличие от описанного этот вариант прибора предназначен только для измерения постоянных и переменных токов, напряжений и активных сопротивлений. Постоянные и переменные напряжения



измеряются на пределах 0,1, 1, 10, 100, 1000 В, постоянные и переменные токи — на пределах 0,1, 1, 10, 100, 1000 мА. Пределы измерения активных сопротивлений: 0,1, 1, 10, 100, 1000 кОм. Переменные напряжения, токи и активные сопротивления отсчитываются по линейной шкале. Диапазон частот, в котором измеряются переменные напряжения и токи, составляет 150 кГц. Погрешность измерения во всех режимах и на всех пределах не превышает 5%.

В приборе применена одна микросхема К284УД1. Коммутация режимов и пределов измерения осуществляется с помощью двух галетных переключателей. Питается прибор от батареи типа 3336Л. Потребляемый ток не превышает 50 мА.

При измерении постоянных токов и напряжений в данном варианте не требуется переключать полярность прибора. Индикация знака измеряемых величин производится нажатием кнопки «Знак». Если при этом стрелка прибора отклоняется вправо, то знак измеряемой величины положительный, и наоборот.

Шкала переменных токов и напряжений проградуирована в действующих значениях синусоидального тока и напряжения. Все шкалы прибора линейны и кратны десяти, поэтому можно применить микроамперметр на ток 100 мкА без переделки шкалы.

Электрическая схема прибора приведена на рис. 20. Она включает в себя: операционный усилитель на микросхеме MC_1, микроамперметр $ИП_1$, элементы коммутации и т. д. Работа прибора в разных режимах измерения не требует особого пояснения. Она основана на тех же принципах, которые заложены в универсальный измерительный прибор и рассмотрены ранее. Следует лишь отметить, что и при измерении постоянных токов и напряжений микроамперметр включен в диагональ диодного моста в цепи обратной связи усилителя. Индикация же знака постоянных токов и напряжений производится путем дополнительного разбаланса операционного усилителя подачей небольшого отрицательного напряжения на его инвертирующий вход при нажатии кнопки $КН_{16}$ «Знак».

Для того чтобы шкала переменных токов и напряжений прибора была проградуирована в действующих значениях измеряемых синусоидальных величин, в этих режимах используются резисторы обратной связи R_{13}, R_{14}. Для пределов измерения 1000 В и 1000 мА используются отдельные гнезда $Гн_2$ и $Гн_3$, что позволяет снизить требования к применяемым в приборе переключателям.

Переключатель B_2 служит для переключения режимов работы, переключатель B_1 для переключения пределов измерения. В режиме измерения сопротивлений используется та же схема включения операционного усилителя, что и в универсальном измерительном приборе, но опорное напряжение снимается со стабилитрона $Д_1$. Это позволило исключить калибровку по прецизионному резистору.

Микросхема К284УД1 объединяет три каскада усиления и эмиттерный повторитель. Первый каскад усиления представляет собой дифференциальный усилитель на подобранной паре полевых транзисторов с n-каналом T_1, T_2 и генератор тока на биполярном транзисторе T_{13}. Температурная стабилизация осуществляется включением в базовую цепь T_{13} транзистора T_{14}, работающего в диодном режиме.

Второй каскад также является дифференциальным и выполнен на транзисторах T_3 и T_{12}. Он содержит динамическую нагрузку на транзисторе T_4. Транзистор T_5 служит для термостабилизации динамической нагрузки.

Третий каскад усиления на T_8, T_9 имеет в качестве нагрузки выходное сопротивление транзистора T_9 и входное сопротивление транзисторов T_{10} и T_{11}. С третьим каскадом связан двухтактный эмиттерный повторитель на транзисторах T_{10} и T_{11}, обеспечивающий низкое выходное сопротивление схемы в целом. Транзисторы T_6, T_7 задают необходимый исходный режим повторителя. Установка напряжения смещения нуля микросхемы производится с помощью резисторов R_{17}, R_{16} («Уст. 0 грубо» и «Уст. 0 точно»).

Для устойчивой работы микросхемы используется простая коррекция с помощью конденсатора C_9, включаемого между выводами *5* и *8* микросхемы. Для защиты операционного усилителя от перегрузок применен стабилитрон $Д_2$.

Два напряжения ±9 для микросхемы MC_1 получаются с помощью преобразователя напряжения, собранного по двухтактной схеме на T_{15} и T_{16}. Дополнительное повышение выходного напряжения достигается применением схемы удвоения напряжения. Питающие напряжения контролируют с помощью пороговой схемы на T_{17} и T_{18} — триггере Шмитта, управляемом напряжением, которое снимается со стабилитрона $Д_5$. При нормальном питании T_{17} открыт, а T_{18} закрыт. При снижении питающих напряжений на 1—1,5 В транзистор T_{17} закрывается, а T_{18} открывается. При этом загорается

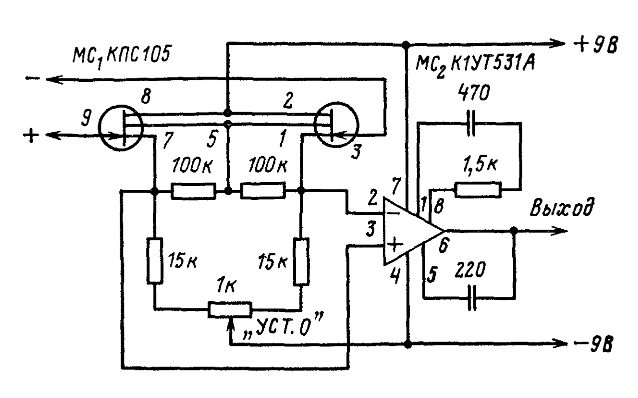


Рис. 21. Операционный усилитель на двух микросхемах.

светодиод $Д_{14}$, сигнализируя о необходимости замены батареи питания.

Конструкция этого прибора подобна ранее описанной, однако его габариты можно значительно уменьшить. В приборе желательно использовать резисторы R_2—R_{14} с допуском 1—2%, так как они определяют точность измерений. При отсутствии нужных номиналов требуемое сопротивление набирают последовательным или параллельным соединением нескольких резисторов. Переключатели B_1—B_2 любого типа на пять положений; кнопка $Кн_1$ имеет две группы контактов; B_3 — кнопка с фиксацией или тумблер. В качестве измерительного прибора можно применить любой микроамперметр на ток 100 мкА.

Микросхему MC_1 можно заменить операционным усилителем К544УД1 или К140УД8. Характеристики этих микросхем приведены в приложении. Вместо MC_1 можно применить и две микросхемы КПС105А и К1УТ531А, включив их по схеме, приведенной на рис. 21. Микросхема К284УД1 хорошо заменяется также операционным усилителем, примененным в универсальном измерительном приборе. При этом микросхему К1УТ402 можно заменить микросхемой К1УТ401Б. Следует заметить, что снижение напряжения питания до ±9 В вместо ±15 или ±12 В мало сказывается на ухудшении характеристик прибора, потребляемый же операционным усилителем ток снижается, что повышает экономичность прибора.

Транзисторную сборку КТС622 можно заменить дискретными транзисторами типов КТ345, КТ361 и др.

Трансформатор TP_1 наматывают на кольце К10×4×3 из феррита 2000НМ. Обмотки *I, II* содержат 5 витков провода ПЭЛШО 0,14, обмотки *III, IV, V* содержат по 15 витков провода ПЭЛШО 0,14.

Налаживание прибора начинают с преобразователя напряжения на T_{15}, T_{16}. Для возникновения генерации очень важно правильно подключить выводы трансформатора Tp_1 в соответствии со схемой. Начала обмоток на рис. 20 обозначены точками. Устройство контроля питающих напряжений на T_{17}, T_{18} практически налаживания не требует. Может лишь потребоваться подбор сопротивления резисторов R_{25}, R_{28} для правильного срабатывания порога триггера. Правильно выбранный порог соответствует загоранию светодиода при падении напряжения питания с +18 до +17 В.

Налаживание операционного усилителя сводится главным образом к устранению возможного самовозбуждения на некоторых пределах измерения. Для борьбы с генерацией может потребоваться увеличение емкости конденсатора C_9. Суммарный ток, потребляемый операционным усилителем как от положительного, так и отрицательного источников напряжения, не должен превышать 5—10 мА. Включив режим измерения постоянных напряжений и предел 0,1 В, замыкают накоротко входные зажимы «$\sim U$» и «*», а переменными резисторами R_{16}, R_{17} добиваются установки нуля микроамперметра.

Благодаря малому дрейфу нуля в операционном усилителе последующая установка его практически не требуется. Переключая пределы измерения прибора, убеждаются с помощью регулируемого источника напряжения, контролируемого с помощью эталонного прибора, в исправной работе прибора на всех пределах измерения постоянных напряжений. Аналогично проверяют прибор в режиме измерения переменных напряжений, подавая на вход изменяемое по амплитуде напряжение от звукового генератора частотой 1000 Гц. Конденсатор C_1 подстраивается при напряжении на входе прибора 10 В частотой 20 кГц.

Режим измерения сопротивлений на каждом диапазоне проверяют с помощью магазина сопротивлений или с помощью образцовых резисторов, сопротивления которых были бы известны с точностью 1—2% и имели номиналы 0,8—1,0 верхних значений пределов каждого поддиапазона. Предварительно калибруют и подстраивают прибор в этом режиме измерения, для чего устанавливают предел, соответствующий номиналу резистора R_{19}. Затем с помощью подстроечного резистора R_{20} добиваются совмещения стрелки прибора с последним делением шкалы. Дальнейшая подстройка в этом режиме не требуется. Измерение сопротивлений производят в следующей последовательности: сначала подключается резистор с неизвестным сопротивлением, затем нажимается кнопка «Измерение *R*». Нажатие кнопки «Измерение *R*» при отключенном резисторе будет приводить к зашкаливанию стрелки микроамперметра.

Работа с прибором не требует особых разъяснений. Отметим лишь некоторые особенности.

При измерении переменных напряжений, содержащих постоянную составляющую, следует подключать прибор через внешний разделительный конденсатор.

Для удобства работы с прибором при измерении постоянных токов и напряжений кнопку «Знак» можно расположить непосредственно на измерительном щупе. Эта же кнопка (другая группа контактов) может использоваться при измерении сопротивлений.

ЦИФРОВОЙ БЛОК ИНДИКАЦИИ

Описываемый универсальный измерительный прибор можно преобразовать в переносный цифровой прибор с автономным питанием, дополнив его масштабным усилителем, аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и устройством цифрового отсчета.

Структурная схема цифрового блока индикации приведена на рис. 22. Постоянное напряжение на резисторе *R* (включенном вместо стрелочного индикатора) во входном устройстве *1* после масштабного преобразования поступает на преобразователь *2* «напряже-

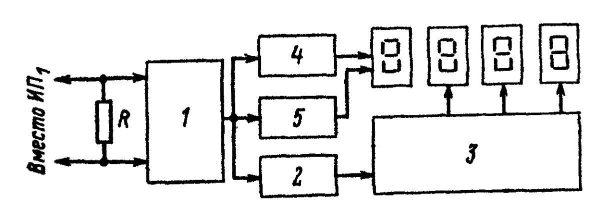


Рис. 22. Структурная схема цифрового блока индикации.

ние — частота», где формируется импульсное напряжение, частота которого прямо пропорциональна измеряемому напряжению. Частота измеряется с помощью электронно-счетного частотомера *3*.

Кроме того, в состав цифрового блока входят индикатор перегрузки прибора *4* и индикатор обратной полярности измеряемого напряжения *5*.

Электрическая схема цифрового блока индикации приведена на рис. 23.

Входное устройство представляет собой операционный усилитель с дифференциальным входом (микросхема MC_1). Выходное напряжение MC_1 управляет частотой генератора, собранного на транзисторах T_1 и T_2. Этот генератор является преобразователем «напряжение — частота». Применение однопереходного транзистора КТ117Б существенным образом упрощает построение генератора, обеспечивая при этом малую зависимость генерируемой частоты от изменения питающих напряжений.

Генератор перестраивается по частоте в диапазоне от 100 Гц до 10 кГц. Погрешность преобразования составляет около 1%. Нижнее значение частоты задается емкостью конденсатора C_3 и начальным током коллектора T_2, который устанавливается резистором R_{14}. Диапазон перестройки определяется сопротивлением резистора R_7. Импульсное напряжение с резистора R_{16} подается на формирователь импульсов на микросхеме MC_2. Его выходное напряжение соответствует логическим уровням интегральных микросхем серии К176, применяемым в частотомере, имеющих малую мощность потребления и высокую степень интеграции.

Для индикации перегрузки прибора используется микросхема MC_3. Неинвертирующий вход усилителя имеет фиксированное смещение. Входной сигнал с дифференциального усилителя на MC_1 прикладывается к инвертирующему входу усилителя на MC_3. При этом если напряжение на этом входе меньше напряжения смещения, то

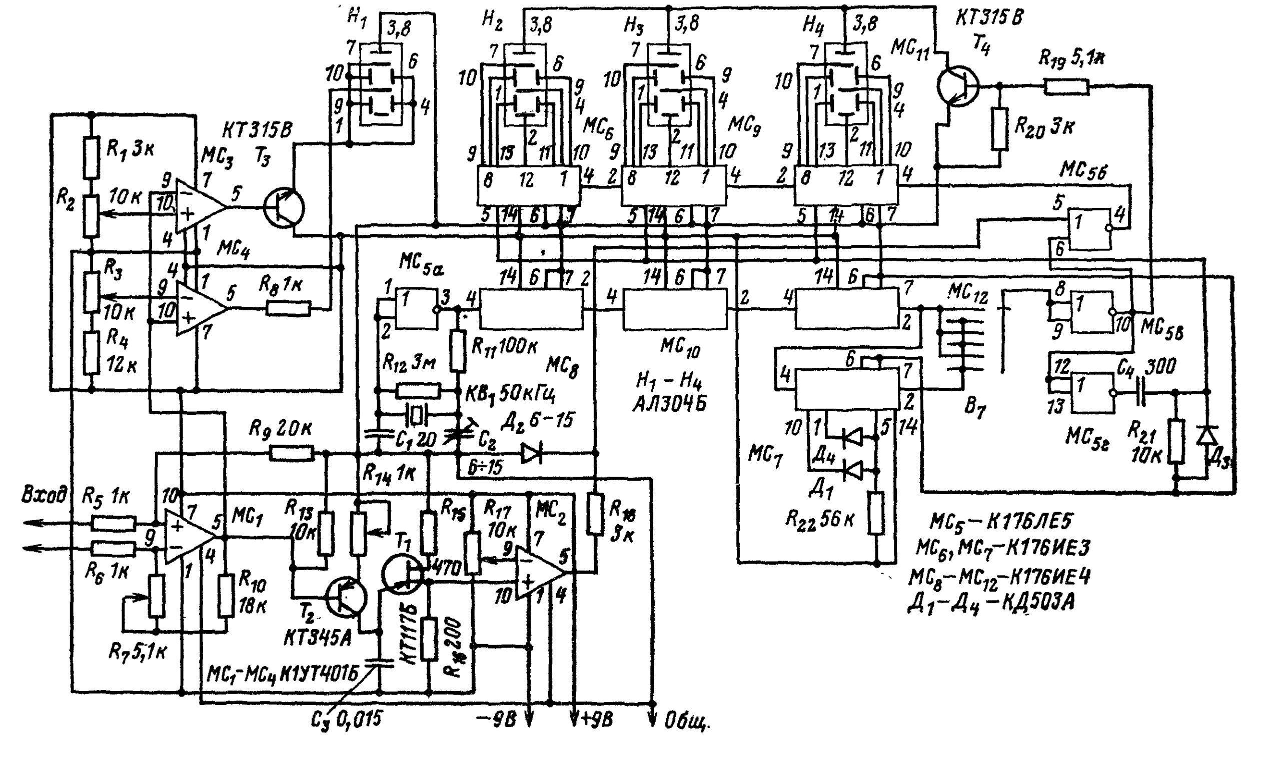


Рис. 23. Электрическая схема цифрового блока индикации.

на выходе микросхемы напряжение недостаточно для открывания транзистора T_3. Если же напряжение на выводе *10* MC_3 окажется меньше напряжения смещения, то транзистор T_3 откроется выходным напряжением операционного усилителя и светодиод (буква «П» из пяти сегментов светодиодной матрицы) загорится. В откалиброванном приборе загорание буквы «П» означает перегрузку прибора.

Индикация обратной полярности осуществляется с помощью операционного усилителя MC_4. Входной сигнал также с выхода *5* дифференциального усилителя MC_1 прикладывается к неинвертирующему входу операционного усилителя MC_4. При этом если напряжение на этом входе больше напряжения смещения, подаваемого на инвертирующий вход MC_4, то выходное напряжение будет достаточным для зажигания светодиода (среднего сегмента светодиодной матрицы). В нормально откалиброванном приборе напряжение на выводе *9* будет меньше, чем на выводе *10*, если показания прибора имеют обратную полярность.

Рассмотрим теперь электронный частотомер. Он включает в себя делитель частоты, счетные декады MC_6, MC_9, MC_{11}, кварцевый генератор, схему совпадения MC_5. Помимо микросхем в частотомере используются семисегментные индикаторы на светодиодных матрицах, а также элементы формирования импульсов счета и сброса ($Д_3$, C_4, R_{21}). Счетные импульсы с формирователя на MC_2 подаются на вход *5* схемы совпадения на MC_5 и далее на счетные декады MC_{11}, MC_9, MC_6. На второй вход *6* схемы совпадения подаются импульсы счета длительностью 10 или 30 мс в зависимости от того, какая шкала включена в универсальном измерительном приборе.

Импульсы счета получаются с помощью кварцевого генератора на 50 кГц и делителей частоты MC_8, MC_{10}, MC_{12}. На выходе *2* последнего делителя период следования импульсов составляет 20 мс.

Для получения периода импульсов 60 мс дополнительно подключается делитель на три (MC_7). Делитель на три подключается с помощью дополнительной контактной группы переключателя B_7. С выхода делителя частоты импульсы подаются на управление счетными декадами. При низком напряжении на выходе делителя счетчики считают, а индикация при этом запрещается, транзистор T_4 закрыт. При высоком логическом уровне на выходе делителя частоты вход счетных декад блокируется и осуществляется индикация (транзистор T_4 открыт). Счетчики сбрасываются в конце каждого 10—30-мс интервала времени, отводимого на индикацию. Сброс производится положительным импульсом, который формируется путем дифференцирования переднего фронта импульса с выхода делителя частоты.

Таким образом, цифровые индикаторы обновляют информацию каждые 20 мс (60 мс) и кажутся постоянно индуцирующими.

Цифровой блок индикации питается напряжением ±9 В. Следует заметить, что в качестве микросхем MC_1—MC_4 применяются операционные усилители К1УТ401Б, рассчитанные на питание ±12 В. Снижение напряжения питания с ±12 до ±9 В уменьшает примерно на 30% коэффициент усиления операционных усилителей. Однако при этом снижается и потребляемый ток, что в данном случае важнее (батарейное питание).

Налаживание цифрового блока индикации начинают с проверки работы частотомера. Для этого на вход схемы совпадения MC_{56} подают импульсы с дополнительного кварцевого генератора. Его схема аналогична той, что используется в цифровом блоке (см.

$MC_{5в}$). Частота кварцевого резонатора должна быть 4—10 кГц. При отсутствии такого кварцевого резонатора можно применить и более высокочастотный кварц, если его частота известна до единиц килогерц. По показаниям частотомера судят о его исправной работе. Затем переходят к дальнейшей настройке цифрового блока индикации Замкнув между собой дифференциальные входы микросхемы MC_1, с помощью резистора R_{14} устанавливают частоту перестраиваемого генератора равной 100 Гц. Затем, подключив диффе-

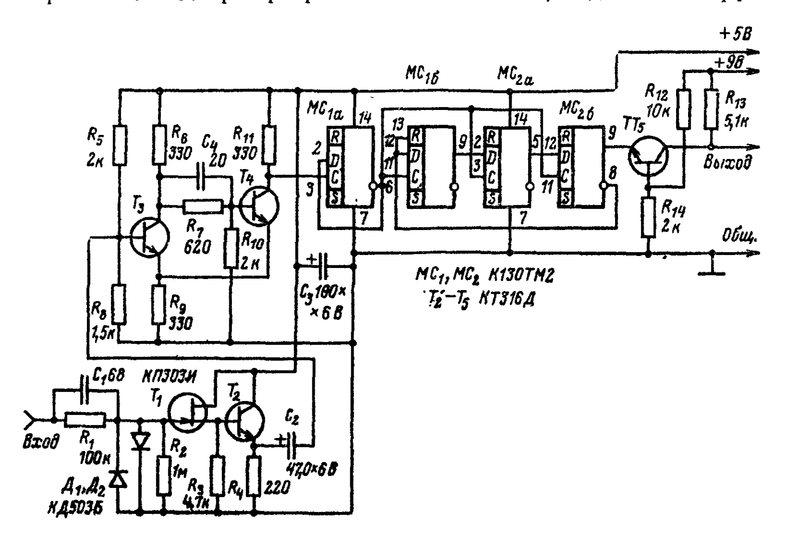


Рис. 24. Делитель на десять для расширения пределов измерения частоты.

ренциальные входы MC_1 параллельно микроамперметру, при положении его стрелки на последнем делении шкалы (например, использовав режим измерения сопротивлений) устанавливают частоту генерации преобразователя равной 10 кГц с помощью резистора R_7. Эти операции повторяют несколько раз для установления точного соответствия показаний микроамперметра и частотомера.

Увеличивая показания микроамперметра так, чтобы стрелка вышла за пределы шкалы, изменением смещения операционного усилителя MC_3 добиваются загорания буквы «П» на светодиодной матрице. Регулировочным резистором R_2 добиваются, чтобы возвращение стрелки прибора на последнее деление шкалы приводило к гашению буквы «П». Аналогично настраивается индикатор обратной полярности. Только в этом случае при положении стрелки микроамперметра на третьем — пятом делении шкалы следует переключить полярность прибора (B_9, B_{10}). При этом с помощью регулировочного резистора R_3 необходимо добиться зажигания знака «—».

После того как все эти операции проделаны, вместо стрелочного прибора включают резистор сопротивлением, равным внутреннему

сопротивлению рамки микроамперметра, и окончательно проверяют прибор по эталонным напряжениям на входе.

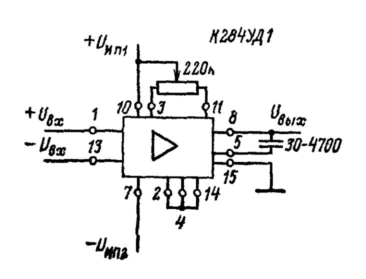
Частотомер цифрового блока индикации можно использовать и по своему прямому назначению. Учитывая ограниченное быстродействие микросхем серии К176, расширение пределов измерения частоты до 20 МГц производится с помощью приставки — делителя на десять (рис. 24). На входе делителя имеется формирователь импульсов, который позволяет измерять частоту входного напряжения от 50 мВ до нескольких вольт, преобразуя его в логические уровни микросхем транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ), применяемых в делителе частоты. Делитель частоты собран на двух корпусах Д-триггеров К130ТМ2. На выходе делителя включен преобразователь логических уровней ТТЛ микросхем в логические уровни КМОП микросхем.

При сохранении разрешающей способности частотомера порядка 1 кГц расширение пределов измерения частоты до 20 МГц требует в частотомере подключения дополнительно еще двух счетных декад. В последней декаде можно применить микросхему К176ИЕ3.

Микросхема К284УД1 (см. рис. 20, MC_1) — операционный усилитель с дифференциальным входом на полевых транзисторах.

Корпус прямоугольный металлостеклянный 151.15-4.

Электрические параметры	К284УД1А	К284УД1Б	К284УД1В
Средний температурный дрейф напряжения смещения, мкВ/°С	50	50	100
Междупиковое напряжение шума в полосе 0,1—10 Гц, мкВ	6	18	18
Коэффициент ослабления синфазного сигнала, дБ	70	70	60
Коэффициент усиления напряжения на частоте 1000 Гц	20 000	20 000	20 000
Напряжение смещения, мВ	10	10	10
Средний входной ток, А	10^{-9}	10^{-9}	10^{-9}
Входное сопротивление на частоте 1000 Гц, МОм	5	5	5
Выходное сопротивление, Ом	200	200	200
Максимальное выходное напряжение, В	5,6	5,6	5,6
Максимальное синфазное входное напряжение, В	±5	±5	±5
Входное сопротивление по постоянному току, МОм	150	150	150
Частота единичного усиления, МГц	4	4	4
Ток потребления, мА	2,5	2,5	2,5
Напряжение источников питания, В	±9±10%	±9±10%	±9±10%
Максимальное дифференциальное входное напряжение, В	±6	±6	±6



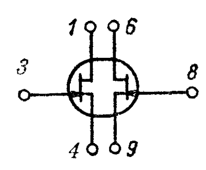
Микросхемы КПС104, КПС105 (см. рис. 1, MC_4, рис. 21, MC_1), КПС202 — кремниевые сдвоенные транзисторы с n каналом

Электрические параметры	КПС104 А	КПС104 Б	КПС104 В	КПС104 Г	КПС104 Д	КПС104 Е	КПС104 Ж	КПС104 И	КПС104 К
Ток утечки затвора, нА, $I_{СИ}=0$, $U_{ЗИ}=10$ В	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	0,1	0,1	1,0	0,1
Крутизна, мА/В, $S_{СИ}=10$ В, $U_{ЗИ}=0$	0,35	0,35	0,65	0,65	0,65	0,8	0,8	0,8	1,0
Напряжение отсечки $U_{отс}$, В	0,2—1,0	0,2—1,0	0,42—1,45	0,42—1,45	0,42—1,45	0,65—2,0	0,65—2,0	0,65—2,0	1,0—3,2
Температурный дрейф разности напряжений $\Delta U/\Delta t$, мкВ/°С	50	150	100	150	—	—	—	—	—
Максимальная мощность на стоке каждой половины транзистора, мВт	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Максимальное напряжение $U_{СИ}$, В	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Максимальное напряжение $U_{ЗИ}$, В	20	20	20	20	20	20	20	20	20

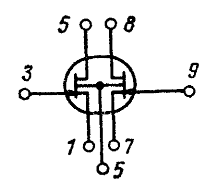
Электрические параметры	КПС104 Л	КПС105 А	КПС105 Б	КПС105 В	КПС105 Г	КПС202 А	КПС202 Б	КПС202 В	КПС202 Г
Ток утечки затвора, нА, $I_{СИ}=0$, $U_{ЗИ}=10$ В	1,0	0,1	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6	1,0	1,0
Крутизна, мА/В, $S_{СИ}=10$ В, $U_{ЗИ}=0$	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,65	1,0
Напряжение отсечки $U_{отс}$, В	1,0—3,2	0,2—2,0	0,3—2,0	1,3—4,0	2,5—6,0	0,2—2,0	0,2—2,0	0,4—2,0	1,0—3,0
Температурный дрейф разности напряжений $\Delta U/\Delta t$, мкВ/°С	—	15	30	30	30	40	40	150	150
Максимальная мощность на стоке каждой половины транзистора, мВт	45	60	60	60	60	70	70	70	70

Электрические параметры	КПС104 Л	КПС105 А	КПС105 Б	КПС105 В	КПС105 Г	КПС202 А	КПС202 Б	КПС202 В	КПС202 Г
Максимальное напряжение $U_{СИ}$, В	15	25	25	25	25	15	15	15	15
Максимальное напряжение $U_{ЗИ}$, В	20	25	25	25	25	20	20	20	20

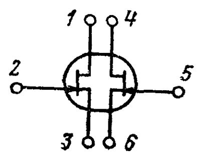
КПС202



КПС105



КПС104



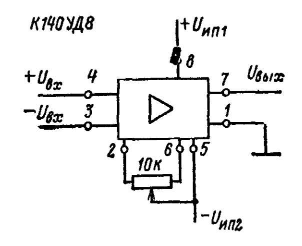


Микросхема К140УД8 — операционный усилитель с дифференциальным входом на полевых транзисторах с внутренней коррекцией.

Корпус металлостеклянный 301.8-2

Выводы: 1 — общий; 2 — установка нуля; 3 — инвертирующий вход; 4 — неинвертирующий вход; 5 — «—» питание; 6 — установка нуля; 7 — выход; 8 — «+» питание.

Электрические параметры	К140УД8А	К140УД8Б
Напряжение источников питания, В	±15±10%	±15±10%
Ток потребления, мА, не более	3	3
Частота единичного усиления, МГц	1	1
Напряжение смещения нуля, мВ	50	100
Средний входной ток, нА	0,5	1
Коэффициент усиления напряжения	50 000	20 000
Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	2	5
Коэффициент ослабления синфазного сигнала, дБ	70	70
Максимальное синфазное входное напряжение, В	±10	±10
Максимальное выходное напряжение, В	±10	±10

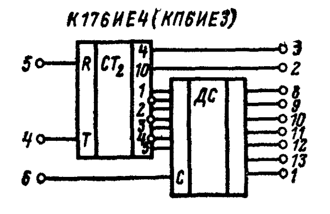


Микросхемы К176ИЕ3, К176ИЕ4 (см. рис. 23, MC_6—MC_{12}) — счетчики по модулю 6 и 10 соответственно с дешифратором для вывода информации на семисегментный индикатор.

Корпус прямоугольный пластмассовый 201.14.

Напряжение питания +9 В±5%, 7 — общий вывод.

Электрические параметры	К176ИЕ3	К176ИЕ4
Ток потребления (вывод *14*), мА, не более	0,25	0,25
Входной ток «лог.0», мкА, не менее	—0,5	—0,5
Входной ток «лог. 1» (выводы *4*, *5*, *6*), мкА	0,5	0,5
Выходное напряжение «лог. 0» (выводы *2*, *4*), В, не более	0,3	0,3
Выходное напряжение «лог. 1» (выводы *1*, *4*), В, не менее	8,2	8,2
Частота деления (вывод *1*), МГц, не менее	1	1



Микросхема К544УД1 — операционный усилитель с дифференциальным входом на полевых транзисторах с внутренней коррекцией.

Корпус металлостеклянный 301.8-2.

Выводы: 1 — баланс; 2 — инвертирующий вход; 3 — неинвертирующий вход; 4 — «—» питание; 5 — свободный; 6 — выход; 7 — «+» питание; 8 — баланс.

Электрические параметры	К544УД1А	К544УД1Б	К544УД1В
Напряжение источников питания, В	±15±2%	±15±2%	±15±2%
Коэффициент усиления напряжения	50 000	20 000	20 000
Средний входной ток, нА	0,15	1,0	1,0
Разность входных токов, нА	0,05	0,5	0,5
Ток потребления, мА	3,5	3,5	3,5
Напряжение смещения нуля, мВ	30	50	50
Коэффициент ослабления синфазного сигнала, дБ	64	64	64
Диапазон выходного напряжения, В	±10	±10	±10
Частота единичного усиления, МГц	1	1	1
Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	2	2	5

Микросхема К1НТ591 — базовая схема дифференциального усилителя.

Корпус металлостеклянный 301.8-2.

Выводы: 2, 3, 4 — коллектор, база, эмиттер первого транзистора соответственно; 8, 7, 6 — аналогично для второго транзистора.

Электрические параметры	К1НТ591А—К1НТ591В	К1НТ591Г—К1НТ591Е
Разность прямых падений напряжений эмиттер — база, мВ, не более, при $U_{КБ}=5$ В, $I_{Э}=1$ мА	3	15
Отношение коэффициентов прямой передачи тока в режиме большого сигнала, не менее: при $F=50$ Гц, $\tau_и=2$ мс, $I_{Э}=1$ мА, $U_{КБ}=5$ В	0,85	0,75
Модуль коэффициента передачи тока на частоте 100 МГц, не менее, при $U_{КБ}=5$ В, $I_{Э}=3$ мА	2	2
Емкость коллектора на частоте 10 МГц при $U_{КБ}=5$ В, пФ	4	4
Обратный ток коллектора, нА	200	200
Обратный ток эмиттера, нА, при $U_{КБ}=20$ В	500	500
Ток утечки между транзисторами, нА, при $U_{Т1,\ Т2}=20$ В	20	20
Максимальное напряжение коллектор — база, коллектор — эмиттер, В	20	20
Максимальный ток коллектора, мА	10	10
Максимальная мощность, рассеиваемая на коллекторе, мВт	50	50

КТС622А — кремниевая транзисторная матрица *p-n-p*.

Корпус прямоугольный стеклянный 401.14-1.

Выводы: 1, 8 — свободные; 3, 6, 10, 13 — эмиттеры; 4, 7, 11, 14 — коллекторы; 2, 5, 9, 12 — базы; 2, 14, 13 — первый транзистор; 3, 4, 12 — второй транзистор; 5, 10, 11 — третий транзистор; 6, 7, 9 — четвертый транзистор.

Электрические параметры	КТС622А
Обратный ток коллектора, мкА, при $U_К=-45$ В	10
Обратный ток эмиттера, мкА, при $U_Э=-4$ В	20
Коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером при $U_К=5$ В, $I_Э=200$ мА	20—150
Модуль коэффициента передачи тока на частоте 100 МГц при $I_К=30$ мА, $U_{КЭ}=10$ В	2
Напряжение насыщения коллектор — эмиттер, В	1,3
Напряжение насыщения база — эмиттер, В, при $I_К=400$ мА, $I_Б=80$ мА	2,2
Время включения, нс, при $I_К=200$ мА, $I_Б=$ $=20$ мА	35
Максимальное напряжение коллектор — база, коллектор — эмиттер, В	45
Максимальный ток коллектора, мА	400
Наибольшая суммарная рассеиваемая мощность матрицы, мВт	400

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лозинский Б. Н., Мельниченко И. И.** Электрорадиоизмерения. М.: Энергия, 1976.

2. **Бартенев В. Г.** Универсальный измерительный прибор. — Радио, 1977, № 1, с. 38.

3. **Шило В. Л.** Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Советское радио, 1974.

4. **Бирюков С. А.** Комбинированный измерительный прибор. — Радио, 1974, № 2, с. 42, 43.

СОДЕРЖАНИЕ

ВЛАДИМИР ГРИГОРЬЕВИЧ БАРТЕНЕВ

Универсальный измерительный прибор

Редактор К. А. Нетребенко
Редактор издательства Т. В. Жукова
Художественный редактор Е. Л. Зайцева
Технический редактор В. В. Хапаева
Корректор Т. В. Воробьева

ИБ № 1587

Сдано в набор 11.08.78. Подписано к печати 05.01.79. Т-01928. Формат 84×108[1]/32. Бумага типографская № 2. Гарн. шрифта литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 2,52. Уч.-изд. л. 2,78. Тираж 60 000 экз. Заказ 646. Цена 20 к.

Издательство «Энергия», 113114, Москва, М-114, Шлюзовая набер., 10

Владимирская типография «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

20 к.

